

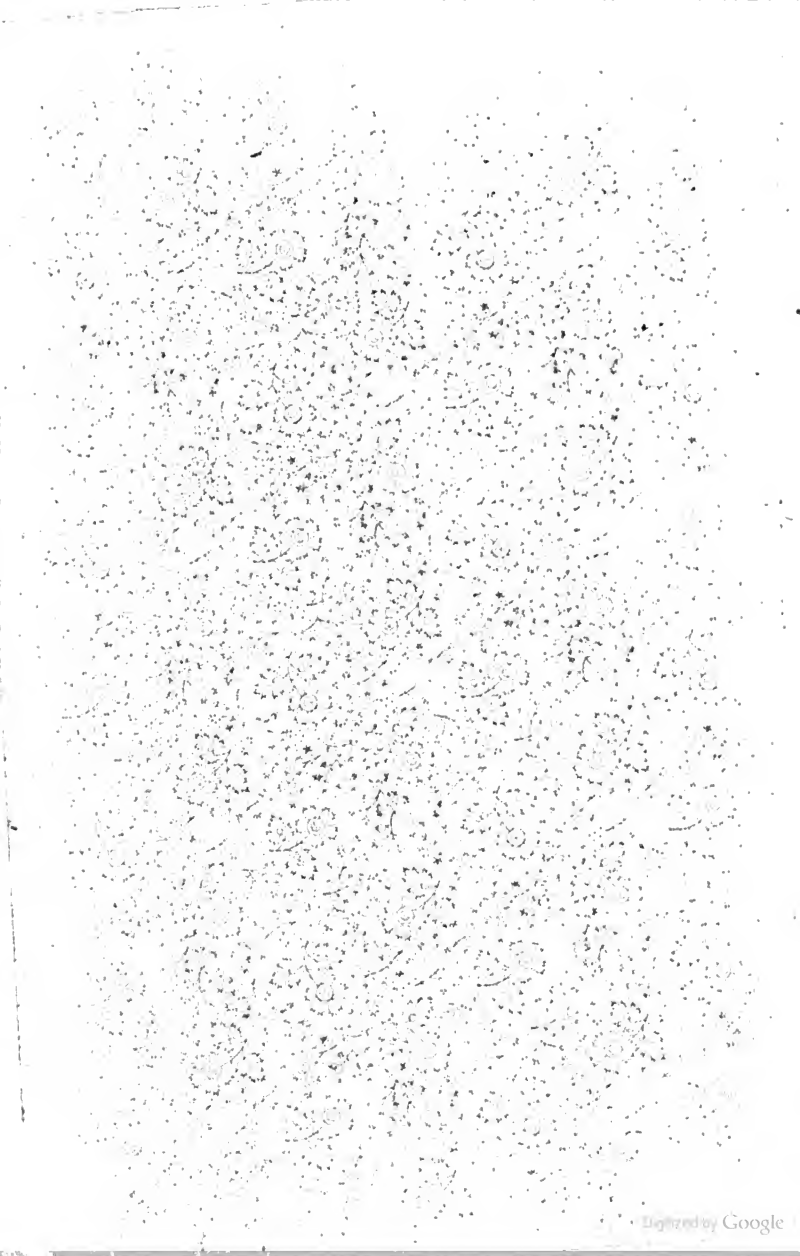
*image
not
available*





NYPL RESEARCH LIBRARY
3 3433 09073

3 3433 09073640 0



SCIENCE DEPT.

Blucher

3 - PRB

Die Luft.

Ihre Zusammensetzung und Untersuchung,
ihr Einfluss und ihre Wirkungen

sowie

ihre technische Ausnutzung.

Von

H. Blücher

Chemiker und Ingenieur.

Mit 34 Abbildungen.

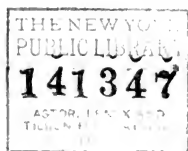
Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1900.

572





Alle Rechte vorbehalten.

Vorwort.

Das vorliegende Werk behandelt die atmosphärische Luft, ihre Zusammensetzung, ihre physikalische, chemische und mykologische Untersuchung, ihre Eigenschaften und Veränderungen, ihren Einfluss auf mineralische und organische Stoffe, auf die Pflanzen- und auf die Tierwelt, sowie schliesslich die technische Ausnutzung der Luft.

Da Verfasser als erster den Versuch wagt, dieses ganze Gebiet in einer Monographie zu umgreifen, so ist er sich wohl bewusst, dass die meisten Kapitel Lücken aufweisen, die erst nach und nach in späteren Auflagen ausgefüllt werden können. Zu diesem Mangel an Vollständigkeit trägt namentlich auch der Umstand bei, dass es sehr schwer ist, die behandelten Forschungsgebiete richtig abzugrenzen; so kann denn die vorliegende Auswahl eben nur die Bedeutung einer subjektiven Ansicht beanspruchen.

Das Buch hofft eine lange gefühlte Lücke auszufüllen. Es hat den Zweck über alles zu unterrichten, was sich auf die atmosphärische Luft bezieht oder in direktem Zusammenhange damit steht. So wird man beispielsweise die Lehren der Meteorologie ebensowenig vermissen, wie die Erörterung der Einflüsse der Atmosphäre auf die Erdkruste und auf den Kreislauf der organischen Stoffe.

Bei der Untersuchung sind nur gute, nach langer Erfahrung des Verfassers erprobte Methoden wiedergegeben.

2. B. O. 2. 1. 2. 6.

Vielleicht am unvollständigsten ist der Abschnitt geblieben, der die technische Ausnutzung der Luft behandelt; das liegt zum grossen Teil daran, dass hier sehr vieles vorgeschlagen worden ist, was noch der Einführung in die Praxis harrt oder sich darin nicht bewährt hat.

Das Gebiet der flüssigen Luft, dem Verfasser seit langem seine besondere Aufmerksamkeit widmet, ist nur so weit berücksichtigt, als es geschehen konnte, ohne sich in utopische Träumereien zu verlieren; sensationelle Meldungen über alle möglichen Anwendungs- und Ausnutzungsarten der flüssigen Luft, wie sie die Spalten der Blätter durchlaufen, ohne irgendwie eine sichere wissenschaftliche Basis erkennen zu lassen, blieben unberücksichtigt.

In allen Teilen war es das vornehmste Bestreben des Verfassers, allgemein verständlich zu bleiben. Deshalb wird der Spezialfachmann auch oft Erläuterungen begegnen, die für ihn überflüssig erscheinen; aber auch er wird solche Erläuterungen in andern Abschnitten, denen er ferner steht, willkommen heissen. Durch die Art der Darstellung hofft Verfasser, das Buch weiten Kreisen wertvoll zu machen, so Chemikern, Physikern, Meteorologen, Ärzten, Hygienikern, Landwirten, Technikern und Naturfreunden überhaupt.

Vorkenntnisse sind nur in dem einen Kapitel der chemischen Untersuchungsmethoden vorausgesetzt. Hier hätte das Eingehen auf die allgemeinen Lehren der analytischen Chemie zu weit vom Thema abgeführt; auch dürften derartige Luftuntersuchungen wohl nur von Forschern ausgeführt werden, die mit der Chemie im allgemeinen vertraut sind.

Möge die Schrift sich Freunde erwerben und ihren Zweck erfüllen, ein Unterrichts- und Nachschlagebuch zu werden; möge sie eine wohlwollende Aufnahme und Beurteilung finden.

Unter Bezugnahme auf die Ausführungen der Vorrede bittet der Verfasser, ihn durch Berichtigungen und Ergänzungen aller Art unterstützen zu wollen.

Unter der Adresse des Herrn Verlegers werden solche Mitteilungen mit Dank entgegen-
genommen.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	III
Einleitung	1
Die einzelnen Luftbestandteile und Luftverunreinigungen . . .	7
A. Gasförmige Bestandteile	7
1. Sauerstoff	7
2. Stickstoff	8
3. Argon	9
4. Kohlendioxyd	10
5. Wasserdampf	11
6. Ozon	14
7. Wasserstoffsperoxyd	16
8. Ammoniak	17
9. Salpetrige Säure und Salpetersäure	18
10. Schweflige Säure und Schwefelsäure	19
11. Schwefelwasserstoff	20
12. Kohlenoxyd	21
13. Kohlenwasserstoffe	22
14. Fäulnisgase	23
B. Staubförmige Verunreinigungen	24
1. Grobe Staubteilchen	24
2. Russ	25
3. Sonnenstäubchen	27
4. Mikroorganismen	28
a) Schimmelpilze	28
b) Sprosspilze	28
c) Spaltpilze	29
Physik der Luft	38
1. Luftdruck	40
2. Luftwärme	49
3. Luftfeuchtigkeit	56

	Seite
4. Bewölkung	61
5. Atmosphärische Niederschläge	73
Tau	73
Reif	74
Regen	74
Schnee	77
Graupeln	79
Hagel	79
6. Luftströmungen	82
Regelmässige Winde	87
Unregelmässige Winde	91
7. Atmosphärische Elektrizität	105
8. Die Schall-, Licht- und Wärmeleitung der Luft . . .	112
9. Das Wetter	121
(Meteorologische Schlussbetrachtungen.)	
1. Cyklone	126
2. Teilcyklone	130
3. Anticyklone	132
4. Keil	134
5. Geradlinige Isobaren	136
Die Untersuchung der Luft	152
A. Physikalische Untersuchung	152
1. Temperatur	152
2. Luftdruck	163
3. Feuchtigkeit	173
4. Niederschläge	181
5. Luftbewegung und Windrichtung	182
B. Chemische Untersuchung	186
1. Kohlendioxyd	186
2. Kohlenoxyd	193
3. Schwefelwasserstoff	198
4. Schwefeldioxyd	199
5. Schwefelsäure	200
6. Chlor	201
7. Chlorwasserstoff	201
8. Ammoniak	201
9. Salpetersäure	202
10. Ozon und Wasserstoffsperoxyd	203
11. Staub	205
C. Mykologische Untersuchung	209
Die Einflüsse der Atmosphäre	226
A. Luftwirkungen auf mineralische Stoffe	226

	<u>Seite</u>
<u>B. Luftwirkungen auf organische Stoffe</u>	<u>235</u>
<u>C. Einfluss der Atmosphäre auf die Pflanzenwelt</u>	<u>239</u>
<u>D. Einfluss der Luft auf die Tierwelt</u>	<u>254</u>
(Hygiene der Luft.)	
<u>Die technische Ausnutzung der Luft</u>	<u>268</u>
<u>A. Ausnutzung des Atmosphärendruckes</u>	<u>270</u>
<u>B. Ausnutzung natürlich bewegter Luft</u>	<u>274</u>
<u>C. Ausnutzung künstlich bewegter Luft</u>	<u>280</u>
1. Die Heissluftmaschinen	280
2. Die Luftkompressoren	282
<u>D. Flüssige Luft</u>	<u>299</u>
—————	
<u>Alphabetisches Namenregister</u>	<u>312</u>
<u>Alphabetisches Sachregister</u>	<u>315</u>

—————

Bei der Bearbeitung wurden unter anderm benutzt :

- Abercromby, Das Wetter (deutsch von Pernter).
Bebber, Hygienische Meteorologie.
Cornil et Babes, Les Bactéries.
Credner, Elemente der Geologie.
Emmerich und Trillich, Hygienische Untersuchungsmethoden.
Fischer, Untersuchung der atmosphärischen Luft.
Flügge, Grundriss der Hygiene.
Fodor, Die Luft und ihre Beziehungen zu epidemischen Krankheiten.
Günther, Lehrbuch der Geophysik.
— Die Meteorologie.
Hamburger, Übergang von Bakterien in die Luft. Inaug.-Diss. Breslau 1892.
Hartwig, Das Leben des Luftmeeres.
Heim, Lehrbuch der Bakteriologie.
Henriet, Les gas de l'atmosphère.
Mayer, Agrikulturchemie.
Miquel, Les organismes vivants de l'atmosphère.
Müller, Kosmische Physik.
Reimann, Das Luftmeer.
Renk, Die Luft.
Riedler, Die Kraftversorgung von Paris durch Druckluft.
— Neue Erfahrungen über die Kraftversorgung von Paris durch Druckluft.
Wollny, Die Zersetzung der organischen Stoffe.
-

Die Luft.

Ihre Zusammensetzung und Untersuchung, ihre Eigenschaften
und Veränderungen, ihre Wirkungen und ihr Einfluss

in

geologischer, biologischer, meteorologischer und
hygienischer Beziehung

sowie

ihre technische Ausnutzung.

Ein Lehrbuch

für

Chemiker, Physiker, Meteorologen, Ärzte, Hygieniker,
Landwirte, Techniker und Naturfreunde

von

H. Blücher

Chemiker und Ingenieur.

Einleitung.

Die Erdkugel ist von einer Lufthülle umgeben; man bezeichnet diese auch als Luftmeer und als Atmosphäre.

Die Luft ist ein gasförmiger Körper und zwar ein solcher, der im ruhenden Zustande durch keinen unserer Sinne wahrgenommen werden kann — mit andern Worten: Die Luft ist ein farbloses, durchsichtiges, geruch- und geschmackloses Gas.

Die Anwesenheit der Luft bezw. die Unveränderlichkeit dessen, was wir unter „Luft“ verstehen, ist die Vorbedingung für alles Leben auf der Erde, wenigstens für das Existieren alles dessen, was sich der Mensch als „lebend“ vorstellen kann.

Die erwähnten physikalischen Eigenschaften der Luft machen es erklärlich, dass die Allgemeinheit der Menschen keinem für sein Dasein wichtigen Naturstoffe so wenig Aufmerksamkeit entgegenbringt, dass sie gegen keinen so undankbar ist, wie gerade gegen die Luft: Bei andern Nahrungsmitteln prüfen wir durch unsere Sinne, soweit diese es immer ermöglichen, ob die Beschaffenheit des Nahrungstoffes auch eine bekömmliche und zusagende ist; bei der Luft hingegen, ohne die wir doch keine Minute zu leben vermögen, ist eine solche Prüfung mit seltenen Ausnahmen unmöglich.

Das Vorhandensein der Luft und zum Teil auch ihre Bedeutung für die Existenz der Lebewesen haben schon die Alten gekannt; sie hielten die Luft für einen einfachen (nicht zusammengesetzten) Naturstoff, für eines ihrer vier Elemente: Feuer, Wasser, Luft und Erde.

Diese Vorstellung erhielt sich bis zum 17. Jahrhundert ¹⁾. Dann erst brach sich allmählich die Anschauung Bahn, dass die reine atmosphärische Luft als eine Mischung verschiedener Gasarten an-

1) Früher bezeichnete man alle Gase mit dem Namen Luft; so wurde Ammoniak als „alkalische Luft“, Wasserstoff als „brennbare Luft“, Sauerstoff als „dephlogistisierte Luft“, Stickstoff als „phlogistisierte“ oder „mephitische Luft“, Kohlendioxyd (Kohlensäure) als „fixe Luft“, Schwefelwasserstoff als „hepatische Luft“ bezeichnet.

zusehen sei. Van Helmont¹⁾ (1577—1644) nahm wahr, dass in einem durch Wasser abgesperrten Gefäße ein brennendes Licht nach Aufzehrung einer gewissen Luftmenge erlischt. Fast um dieselbe Zeit betrachtete man auch schon das Atmen als einen der Verbrennung ähnlichen und von der Luft abhängigen Vorgang, wie dies namentlich Mayow um 1668 nachwies.

Deutlich zeigte Rutherford 1772, dass die Luft durch den Atmungsprozess nicht nur mit Kohlendioxyd²⁾ beladen und „verdorben“ werde, sondern, dass sie von vornherein einen Bestandteil enthält, welcher an und für sich die Atmung nicht ermöglicht. Diesen gasförmigen Bestandteil isolierte er, indem er aus der Luft, worin Tiere geatmet hatten, das Kohlendioxyd durch Kalilauge entfernte. Priestley, der bedeutendste Entdecker auf dem Gebiete der Chemie der Gase, wiederholte diesen Versuch sofort, indem er der Luft den die Verbrennung (und Atmung) unterhaltenden Teil durch glühende Kohlen entzog; nach Entfernung des gebildeten Kohlendioxydes vermittelst Kalkwasser blieben $\frac{1}{5}$ des ursprünglichen Luftvolumens übrig. Weiter gelang es ihm, den die Verbrennung unterhaltenden Teil der atmosphärischen Luft, den Sauerstoff, auf andere Weise, nämlich durch Erhitzen von rotem Quecksilberoxyd, für sich zu gewinnen.

Infolge dieser Entdeckungen betrachtete Lavoisier die Luft im wesentlichen als ein Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff. Er zeigte 1787, dass der als „phlogistisierte“ oder „mephitische Luft“ bezeichnete Teil der Atmosphäre ein einfacher Körper, ein chemisches Element ist, und nannte ihn Azote oder Stickstoff. Nach dieser Entdeckung wurde die Behauptung Schele's (der fast zu gleicher Zeit wie Priestley und unabhängig von ihm den Sauerstoff aufgefunden hatte) allgemein zum Gesetz erhoben:

„Die Luft ist aus Gasen von zweierlei Art zusammengesetzt, sie ist ein Gemisch von 1 Raumteil Sauerstoff mit 4 Raumteilen Stickstoff.“

Indessen hatte schon Cavendish 1785 beobachtet, dass der Luftstickstoff, wenn man durch sein Gemenge mit viel Sauerstoff in Gegenwart von Kalilauge den Induktionsfunken hindurchschlagen lässt, nicht völlig aufgezehrt wird. Vielmehr bleibt unter solchen Umständen nach Entfernung des überschüssigen Sauerstoffs stets ein

1) Zum Teil nach Krafft, „Anorganische Chemie“, III. Aufl. Leipzig und Wien 1898.

2) Es sei gleich hier bemerkt, dass die moderne Chemie anstatt des früher üblichen Namens „Kohlensäure“ die richtigere Bezeichnung Kohlen-säureanhydrid oder Kohlendioxyd gesetzt hat.

völlig indifferentes Gas zurück. Diese Beobachtung wurde aber von dem Genannten, wie auch von Lavoisier und andern, nicht weiter verfolgt. Erst im Jahre 1894 gelang es zwei englischen Forschern, Lord Rayleigh und W. Ramsay, ein eigenartiges, dem Luftstickstoff in geringer Quantität beigemengtes¹⁾ Gas, das Argon zu entdecken; dasselbe ist dem Stickstoff sehr ähnlich, wie dieser farb- und geruchlos, aber von noch weit geringerer chemischer Verwandtschaft zu allen Reagentien als der Stickstoff selbst.

Die letzten Forschungen von A. Leduc²⁾ haben die Zusammensetzung der Luft, wie folgt zusammengestellt:

Zusammensetzung der Luft.

	Sauerstoff	Stickstoff	Argon
Gewichtsproz. . .	23,2	75,5	1,3
Volumproz. . .	21,0	78,06	0,94

In neuester Zeit wollen W. Ramsay und Morris W. Travers noch drei weitere neue Gase in der Luft nachgewiesen haben, die sie Krypton, Neon und Metargon benennen³⁾. Jedoch ist die Existenz dieser Stoffe und ihre Natur noch zu zweifelhaft, als dass sich ein näheres Eingehen darauf hier rechtfertigen liesse.

Weiter soll nach Forschungen von A. Gautier⁴⁾ auch Wasserstoff in minimalen Mengen regelmässig in reiner Luft vorhanden sein.

Ist jedoch das Vorhandensein der letztgenannten Gase in der Atmosphäre noch zweifelhaft, so gilt dies keineswegs für das Kohlendioxyd. Dass dieses stets in der Atmosphäre enthalten ist, zeigte bereits Bergmann um 1785 mit Hilfe der Beobachtung (die den Arbeiten von Black und andern über jenes Gas entnommen wurde), dass die ätzenden Alkalien und gebrannter Kalk an der Luft in Karbonate (d. h. Kohlensäure Salze) übergehen. Bergmann glaubte die Ursache des Kohlendioxydgehaltes der Luft hauptsächlich in der Atmung zu finden. Neue Forschungen haben ergeben, dass andere Ursachen an dem Kohlensäuregehalt der Luft noch stärker beteiligt sind.

„Als Quellen⁵⁾ des atmosphärischen Kohlendioxydes kommen in Betracht:

1) Trotz des geringen Gehaltes der Luft an Argon atmen wir von letzterem jährlich doch etwa 7 Kubikmeter ein.

2) Compt. rend. de l'Acad. des sciences T.: CXXIII, 805.

3) Ebenda CXXVI. 1610 u. 1762.

4) Ebenda CXXVII. 593.

5) Aus Flüggé, Grundriss der Hygiene, II. Aufl.

- a) Die Atmung der Menschen und Tiere; ein Mensch liefert stündlich 22 l Kohlendioxyd. Das gesamte von den die Erde bewohnenden Menschen produzierte Kohlendioxydgas berechnet sich auf jährlich ca. 130 Milliarden cbm.
- b) Die Fäulnis- und Verwesungsprozesse, die namentlich im gedüngten Boden in grossem Umfange verlaufen.
- c) Die Verbrennung von Brennmaterial und Beleuchtungsstoffen, besonders in Industriebezirken; jährlich ca. 300 Milliarden cbm.
- d) Unterirdische Kohlendioxyd-Ansammlungen, die sich unter Umständen nach Bergwerken öffnen (matte Wetter) oder durch Erdspalten und Vulkane ausströmen.

Der fortlaufenden Produktion steht eine ausgiebige Fortschaffung des Kohlendioxydes aus der Luft gegenüber, und zwar erfolgt diese:

- a) Durch die grünen Pflanzen, die im Tageslichte Kohlendioxyd zerlegen.
- b) Durch die Niederschläge, die im Mittel 2 cem Kohlendioxyd in 1 l enthalten.
- c) Durch die kohlen saure Salze des Meerwassers.

Ausserdem sorgen die Winde für eine gleichmässige Verteilung des vorhandenen Kohlendioxydes, sodass wir überall den gleichen Gehalt — 0,25—0,3 pro mille — beobachten. Eine kleine Verringerung tritt vielleicht in der Nähe ausgedehnter Waldungen zu Tage (während kleinere Baumgruppen durchaus nicht in merkbarer Weise den Kohlendioxydgehalt der Luft beeinflussen). Eine geringfügige Steigerung ist bei windstillem Wetter in Industriebezirken, ferner bei Moorrauch wahrzunehmen.“ Alles dies gilt naturgemäss nur für die freie Luft, für die Atmosphäre im allgemeinen. Über den höheren Kohlendioxydgehalt der Luft innerhalb der Wohnungen und dessen gesundheitliche Bedeutung wird das nähere in einem späteren Kapitel „Hygiene der Luft“ ausgeführt werden. —

Ein weiterer, nie fehlender Bestandteil der Atmosphäre ist der Wasserdampf. Der Gehalt der Luft an Wasserdampf, also die Luftfeuchtigkeit, ist ein sehr wechselnder nach Zonen, nach Jahreszeit, nach Temperatur und Witterung. Einige Angaben von Wichtigkeit über diesen Punkt enthält das Kapitel „Meteorologie“.

Ist nach den gemachten Ausführungen festzuhalten, dass die reine atmosphärische Luft aus Stickstoff, Sauerstoff, Argon, Kohlendioxyd und Wasserdampf besteht, so gilt doch auch heute im Prinzip noch das Gesetz:

Die Luft ist ein Gemenge aus 4 Raumteilen Stickstoff und 1 Raumteil Sauerstoff.

Wenigstens ist diese Regel insofern zutreffend, weil man Argon und Kohlendioxyd nur als minimale Beimischungen ansehen kann, und weil auch der Wasserdampf nicht mit dem Begriff der Luft grundlegend und untrennbar verbunden ist.

Wir sagten, die Luft sei ein Gemenge. Sie ist keine chemische Verbindung, deren Grundelemente bei Eingehung dieser Verbindung ihre Eigenschaften eingebüsst bezw. verändert hätten; sie ist vielmehr ein mechanisches Gemisch der genannten gasförmigen Stoffe. Jeder Gemengteil liegt stofflich unverändert neben dem andern; man kann nicht von Luftmolekülen reden, sondern nur von Sauerstoffmolekülen und Stickstoffmolekülen, die aneinander bezw. durcheinander gelagert sind.

Immerhin hat die grosse Gleichmässigkeit in der Zusammensetzung der Luft längere Zeit Streitigkeiten darüber veranlasst, ob die Luft nicht doch etwa als eine chemische Verbindung zwischen Sauerstoff und Stickstoff zu betrachten sei, in derselben Weise, wie das Wasser eine solche zwischen Sauerstoff und Wasserstoff ist. Diese Möglichkeit wird jedoch durch folgende Thatsachen widerlegt:

- a) Die Bestandteile der Luft stehen nicht in atomistischen Verhältnissen zueinander, wie dies bei allen chemischen Verbindungen der Fall ist.
- b) Beim Vermengen von Sauerstoff und Stickstoff zu Luft ist nicht die geringste Wärmeentwicklung wahrnehmbar, während eine solche bei der chemischen Vereinigung von Gasen stets leicht beobachtet werden kann.
- c) Von Wasser wird die Luft nicht wie eine chemische Verbindung aufgenommen (absorbirt), sondern sie verhält sich dem Wasser gegenüber wie ein Gasgemenge: Die in Wasser aufgelöste Luft besteht aus 34,91 Volumteilen Sauerstoff und 65,09 Volumteilen Stickstoff. Das Wasser absorbiert also eine verhältnismässig grössere Menge Sauerstoff als Stickstoff aus der Luft ¹⁾.
- d) Der Sauerstoff und der Stickstoff der Luft lassen sich voneinander durch mechanische Hilfsmittel, so durch Diffusion trennen: Durch eine poröse Membrane „diffundirt“ der Stickstoff der Luft leichter, bezw. schneller als der Sauerstoff, sodass die diffundierte Luft stickstoffreicher ist. Die Leichtigkeit, womit Gase durch poröse Membranen hindurchgehen (diffundieren), wächst mit der Abnahme ihres spezifischen Gewichtes; der spezifisch leichtere Stickstoff muss also ein höheres Diffusions-

1) Auf diese Erscheinung gründet sich ein Verfahren zur Darstellung von Sauerstoff aus Luft. Dasselbe ist in einem späteren Kapitel „Technische Ausnutzung der Luft“ erwähnt.

vermögen haben (und hat es) als der etwas schwerere Sauerstoff. Eine derartige Trennung durch Diffusion ist aber nur möglich bei einem mechanischen Gemenge von Gasen; sie wäre nicht ausführbar, wenn die Luft eine chemische Verbindung, also ein stofflich einheitlicher Körper wäre.

Die Luft ist demnach ganz sicher als mechanisches Gemenge anzusehen. Dass nichtsdestoweniger das Verhältnis zwischen Sauerstoff und Stickstoff sich so ausserordentlich konstant erweist, wie dies die genauesten Analysen von Bunsen, Regnault, Dumas, Stas, Leduc u. a. bestätigen, rührt daher, dass der Sauerstoffverbrauch bei der Atmung der Tiere gegenüber dem ungeheueren Luftquantum ausserordentlich geringfügig ist, und dass diesem Sauerstoffverbrauche und demjenigen bei anderen Oxydationen eine Sauerstoffentwicklung gegenübersteht, die durch den Assimilationsprozess der Pflanzen ausgelöst wird. Lokale Abweichungen werden ausserdem durch die beständigen Luftströmungen ausgeglichen.

Niemals nun hat die Luft in der Nähe unserer Wohnstätten ihre typische Zusammensetzung, wie sie, abgesehen von dem regelmässigen Gehalt an Kohlendioxyd und Wasserdampf, durch die Leduc'sche Tabelle auf Seite 3 wiedergegeben wird. Vielmehr findet man stets noch andere, teils gasförmige, teils staubförmige Verunreinigungen in beschränkten Luftgebieten.

Von gasförmigen Verunreinigungen der Luft, wie sie teils einzeln, teils zu mehreren vereinigt vorkommen, sind zu nennen:

Ozon, Wasserstoffsperoxyd, Ammoniak, salpetrige Säure, Salpetersäure, schweflige Säure, Schwefelsäuredämpfe, Kohlenoxyd, Schwefelwasserstoff und verschiedene Kohlenwasserstoffe, sowie Fäulnisgase¹⁾.

Unter den nicht gasförmigen Luftverunreinigungen, d. h. den in der Luft suspendierten (schwebenden) Elementen, sind aufzuzählen:

Größere Staubpartikel, Russ, Sonnenstäubchen und Mikroorganismen.

Wir gehen nun zu der Besprechung der einzelnen Luftbestandteile und Luftverunreinigungen über.

1) Auch Kohlendioxyd ist — und zwar in erster Linie — als Luftverunreinigung aufzuführen; es wird aber nicht erst hierdurch Luftbestandteil, sondern vermehrt nur den regelmässigen Kohlendioxydgehalt der Atmosphäre. — Als weitere Luftverunreinigungen von seltenerem Vorkommen wären noch Salzsäure (bei Sodafabriken) und Chlor (in der Nähe von Chlorkalkfabriken) zu nennen.

Die einzelnen Luftbestandteile und Luftverunreinigungen.

A. Gasförmige Bestandteile.

1. Sauerstoff.

„Der Sauerstoff¹⁾ wird überall in der Atmosphäre in der gleichen prozentischen Menge gefunden; die Schwankungen des Gehaltes betragen in maximo 0,5 ‰; die niedrigsten Zahlen treten bei südlichen Winden und nach anhaltendem Regen auf. Für gewöhnlich zeigt die Luft selbst in Fabrikstädten kaum messbare Unterschiede gegenüber dem Sauerstoffgehalt der Land- und Waldluft.

Der Grund dieser Konstanz liegt darin, dass der Vorrat der Atmosphäre an Sauerstoff ein ganz enormer ist. Wenn auch in dem Masse, wie es jetzt geschieht, fortgesetzt Sauerstoff durch Verbrennung und Atmung verbraucht und zur Bildung von Kohlendioxyd, Wasser u. s. w.²⁾ verwandt wird, und wenn aus allen diesen Verbindungen der Sauerstoff nicht nachträglich wieder frei wird, so müssen doch etwa 18 000 Jahre verfließen, bis der Sauerstoffgehalt um 1 ‰ abnimmt. Ein wesentlicher Teil des zu Oxydationen verwandten Sauerstoffs wird aber bekanntlich (wie schon erwähnt wurde) durch die Chlorophyll-führenden Pflanzen wieder in Freiheit gesetzt, so dass thatsächlich die Abnahme noch erheblich langsamer erfolgt. — Ausserdem sorgen für eine stets gleichmässige Verteilung des Sauerstoffs und der andern Gase die Winde, die fortgesetzt ein kräftiges Umrühren und inniges Mischen der Luft bewirken.“

1) Nach Flüggé, Grundriss der Hygiene, II. Aufl.

2) Bei der vollständigen Oxydation kohlenstoffhaltiger Substanzen entstehen als Zersetzungsprodukte Kohlendioxyd und Wasserdampf. Dieselben Produkte bilden sich auch im lebenden Tierkörper; die Kohlensäure und ein Teil des Wasserdampfes werden dann mit der Ausatemungsluft wieder ausgeschieden.

Der Sauerstoff ist ein durchsichtiges, farb-, geruch- und geschmackloses Gas. Sein spezifisches Gewicht ist auf Luft bezogen = 1,1015. Er ist demnach 15,9mal schwerer als Wasserstoff. 1 l Sauerstoff wiegt bei 0° und 760 mm Quecksilberdruck in der Breite von 45° = 1,429 g. 1 Raumteil Wasser löst bei 15° C. 0,029 Raumteile Sauerstoff.

Lange Zeit hindurch galt der Sauerstoff als ein permanentes Gas, d. h. als ein solches, das sich nicht wie die Dämpfe in den flüssigen Zustand überführen lässt. Neuerdings hat man erkannt, dass es permanente Gase nicht giebt, dass vielmehr jedes Gas unterhalb einer bestimmten Temperatur (kritischen Temperatur) durch einen gewissen Druck¹⁾ zu einer Flüssigkeit verdichtet wird. Die kritische Temperatur des Sauerstoffes ist — 119° C., der kritische Druck beträgt 50 Atmosphären. Unter gewöhnlichem Atmosphären- druck von 760 mm Quecksilber liegt der Siedepunkt des flüssigen Sauerstoffes bei — 182° C. Bei dieser Temperatur hat er ein spezifisches Gewicht von 1,124 (auf Wasser = 1 bezogen). Er besitzt eine hell- bis stahlblaue Farbe, was entschieden von Einfluss auf die Farbe der ungetrübten Atmosphäre (des „blauen Himmels“) ist. Zuerst ist die Verflüssigung des Sauerstoffes von Cailletet und Pictet im Jahre 1877 erreicht, später von Olszewski in grossem Masstabe wiederholt worden.

Der Sauerstoff ist derjenige Bestandteil der Luft, welcher die Verbrennungs- und Oxydationsprozesse unterhält; er allein spielt in der Luft eine „aktive“ Rolle. Es ist demnach ohne weiteres klar, dass in reinem Sauerstoffgas Verbrennungen aller Art ausserordentlich viel heftiger vor sich gehen als in der Luft selbst.

Verfahren zur Darstellung des technisch sehr wichtigen Sauerstoffgases aus der atmosphärischen Luft werden in dem Abschnitt „Technische Ausnutzung der Luft“ zu behandeln sein.

2. Stickstoff.

Der Stickstoff der atmosphärischen Luft tritt nicht in Wechselwirkung mit den lebenden (pflanzlichen und tierischen) Organismen. Er dient in der Luft nur dazu, die Wirkungen des reinen Sauerstoffes abzuschwächen, also diesen zu verdünnen. Denn der Sauerstoff wirkt auf unsere Atmungsorgane so intensiv ein, dass er dieselben schnell zerstören würde, dass also auf eine kurze übermässige Erregung bald der Tod folgen müsste. Dasselbe ist der Fall mit allen andern pflanzlichen und tierischen Lebewesen.

1) Derjenige Druck, welcher ein Gas bei seiner kritischen Temperatur eben zu verflüssigen vermag, heisst der kritische Druck dieses Gases.

Der Stickstoff ist ein durchsichtiges, farb-, geruch- und geschmackloses Gas. Sein spezifisches Gewicht ist auf Luft bezogen = 0,9713. Er ist demnach 13,98mal schwerer als Wasserstoff. 1 l Stickstoff wiegt bei 0° C. und 760 mm Druck 1,2505 g. Auch der Stickstoff lässt sich verflüssigen, und zwar liegt seine kritische Temperatur bei -146° C.; sein kritischer Druck beträgt 35 Atmosphären. Unter dem gewöhnlichen Atmosphärendruck von 760 mm Quecksilber siedet der flüssige Stickstoff bei -194,4° C., bei dieser Temperatur ist sein spezifisches Gewicht = 0,885 (auf Wasser = 1 bezogen). Durch sehr starke Druckverminderung (bis auf 60 mm) lässt sich der flüssige Stickstoff bis auf -214° C. abkühlen und wird bei dieser Temperatur fest.

Der Stickstoff zählt zu den indifferentesten Elementen, d. h. er zeigt ein ausserordentlich geringes Bestreben, sich mit andern Elementen direkt zu vereinigen; in den meisten Fällen kann man nur auf Umwegen eine chemische Bindung des Stickstoffes erreichen.

3. Argon.

Das Argon ist ein dem Stickstoff sehr ähnliches, durchsichtiges, farb- und geruchloses Gas, das im Jahre 1894 durch Lord Rayleigh und W. Ramsay¹⁾ entdeckt worden ist. Um das Argon zu erhalten, wurde zuerst der Sauerstoff eines Quantums getrockneter Luft durch rotglühendes Kupfer und dann der Stickstoff durch rotglühendes Magnesium²⁾ absorbiert, nachdem schon vorher die Kohlensäure durch Kaliumhydrat entfernt war. Nach diesen Manipulationen hinterblieb ein völlig indifferentes Gas, dessen spezifisches Gewicht auf Luft bezogen = 1,386, auf Wasserstoff bezogen = 19,94 ist. Die kritische Temperatur des Argons liegt bei -121° C., sein kritischer Druck beträgt 50 Atmosphären. Unter dem gewöhnlichen Atmosphärendruck von 760 mm siedet das flüssige Argon bei -187° C.; es hat bei dieser Temperatur ein spezifisches Gewicht von 1,5 (auf Wasser = 1 bezogen). Im Wasser ist das Argon in nicht unbeträchtlicher Menge löslich: 100 Raumteile Wasser lösen bei 12° C. ungefähr 4 Raumteile Argon.

Dieses Gas, das inzwischen auch in zahlreichen Mineralquellen aufgefunden wurde, ist noch weit indifferenter als der Stickstoff. Trotz zahlreicher Versuche ist es bisher nicht gelungen, Verbindungen des Argons darzustellen; ebenso wenig sind solche bisher in der Natur aufgefunden worden.

1) Proc. Royal Society. Sitzung vom 31. Januar 1895.

2) Beim Überleiten von Stickstoff über rotglühendes Magnesium bildet sich die chemische Verbindung Magnesiumnitrid.

Soweit die bisherigen Forschungen als beweiskräftig angesehen werden können, ist das Argon an der Atmung und an der Organbildung von Pflanzen und Tieren nicht beteiligt.

4. Kohlendioxyd.

Die Quellen des atmosphärischen Kohlendioxydes sind schon auf Seite 4 besprochen worden. Obwohl, wie erwähnt wurde, die reine atmosphärische Luft nur wenig Kohlendioxyd, nämlich 0,25 bis 0,3 pro mille, enthält, so hat man doch berechnet, dass die Gesamtmenge des in der Lufthülle der Erde enthaltenen Kohlendioxydes das ungeheure Gewicht von mehr als 3000 Billionen kg haben muss.

Es erscheint nicht überflüssig, nochmals besonders zu betonen, dass die Vegetation, also die Gesamtheit der lebenden Pflanzen, an der Produktion der atmosphärischen Kohlensäure keinen Anteil hat und jedenfalls den Kohlensäuregehalt der Luft nicht erhöht. H. Henriet¹⁾ schreibt darüber ganz treffend:

„Il ne faudrait pas croire que la végétation soit une des causes de la production de l'acide carbonique: il n'en est rien. S'il se produit un échange continu entre les plantes et l'atmosphère, il n'a d'autre effet que de déterminer un balancement dans la teneur de l'air, balancement régulier et périodique qui a lieu la nuit, pendant laquelle la respiration se faisant seule, enrichit momentanément l'atmosphère de gaz carbonique.

On sait quel est le mécanisme des échanges successifs que font les plantes avec l'atmosphère.

Dans la respiration proprement dite, elles consomment de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique; cet effet dure jour et nuit en raison de l'activité de la végétation et varie avec les phases de la vie de chaque plante. Dans la nutrition aérienne, c'est l'inverse: la plante absorbe de l'acide carbonique, le réduit, en fixe le carbone et en dégage l'oxygène. Ce dernier phénomène exige l'intervention de la lumière et se passe dans la matière verte des plantes. Il s'annule dans l'obscurité, en sorte que les effets de la respiration y apparaissent seuls; dans le jour, au contraire, il masque les effets de cette respiration²⁾. Cependant, le dégagement d'oxygène avec fixation de carbone l'emporte de beaucoup sur le phénomène inverse; il y a gain d'oxygène pour l'air et de carbone pour la plante.“ — Näheres über diesen Punkt wird in dem Kapitel „Bedeutung der Luft für die Pflanzenwelt“ zu finden sein.

1) H. Henriet, Les Gaz de l'Atmosphère.

2) Albert-Lévy, Histoire de l'air.

Das Kohlendioxyd ist ein farbloses Gas von säuerlich prickelndem Geschmack und stechendem Geruch. Es kann weder die Verbrennung noch die Atmung unterhalten, so dass Tiere in dem reinen Gase und in sehr kohlenäurereicher Luft ersticken. Zu bemerken ist dabei, dass das Kohlendioxyd nicht eigentlich giftig, sondern nur im wahren Sinne des Wortes „erstickend“ wirkt, indem es an die Stelle des zur Atmung notwendigen Sauerstoffs tritt, bezw. diesen zu stark verdünnt.

Das spezifische Gewicht des Kohlendioxydgases ist (auf Luft = 1 bezogen) = 1,524, bei 0° C. und 760 mm Druck gemessen. Demnach ist die Dichte des gasförmigen Kohlendioxydes gegenüber Wasserstoff = 21,927.

Diese bedeutende Schwere gegenüber der Luft erklärt es, dass das Kohlendioxyd sich nach unten senkt, wenn nicht Luftströmungen für eine gleichmässige Vermischung Sorge tragen. Bekannt ist die Hundsgrotte bei Neapel, in der eine, $\frac{1}{2}$ m hohe, Schicht gasförmiger Kohlensäure den Boden bedeckt; kleinere Tiere, wie Hunde u. s. w. ersticken infolgedessen in der Hundsgrotte, während Menschen stehend ohne Schaden den Aufenthalt darin ertragen.

Die kritische Temperatur des Kohlendioxydes liegt bei + 30,9° C.; der kritische Druck beträgt 73,6 Atmosphären. Das flüssige Kohlendioxyd hat bei 0° C. das spezifische Gewicht 0,947 (auf Wasser = 1 bezogen); bei - 65° C. erstarrt es zu einer schneeartigen Masse.

Bekannt ist es, dass das gasförmige Kohlendioxyd in kaltem Wasser in recht beträchtlicher Menge löslich ist; durch Einpressen des Kohlendioxydes in die betreffenden Flüssigkeiten erhält man die künstlichen moussierenden Wässer, Champagner u. s. w.

5. Wasserdampf.

Immer und unter allen Umständen enthält die atmosphärische Luft einen gewissen Prozentsatz an Wasserdampf. Es ist dabei von dem dampfförmigen (gasigen) Wasser die Rede; abgesehen wird von dem in flüssigen Tröpfchen oder Bläschen bereits abgeschiedenen Wasser.

Ein bestimmter Luftraum kann unter gewöhnlichem Druck ¹⁾ bei einer bestimmten Temperatur höchstens eine bestimmte Wasserdampfmenge aufnehmen, die von der Spannung (Tension) des Wassers bei eben dieser Temperatur abhängt. Ein Überschuss über

1) Genaueres über den Luftdruck findet sich im Abschnitt „Physik der Luft“.

das Sättigungsvermögen der Luft an Wasserdampf hinaus führt sofort zur Bildung von Tau, Regen, Schnee oder Hagel.

Mit steigender Temperatur vergrößert sich das Aufnahmevermögen der Luft für Wasserdampf: je heisser die Luft, um so höher kann der Druck des Wasserdampfes steigen. Umgekehrt nimmt die Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf ab, wenn die Temperatur sinkt. Ist also die Luft (an einem bestimmten Orte) mit Wasserdampf bei einer bestimmten Temperatur gesättigt, so muss sich eines der oben erwähnten Phänomene einstellen, falls die Temperatur der Luft sinkt; es wird die nun überschüssige Wassermenge in Form von Tau, Nebel, Regen, Schnee oder Hagel ausgeschieden werden. Die weitere Ausführung dieser Thatsachen enthält das Kapitel „Meteorologie“.

1 cbm mit Wasserdampf völlig gesättigter Luft enthält hiervon:

bei	— 10°	2,284 g	+ 25°	22,843 g
	0°	4,871 „	+ 30°	30,095 „
	+ 10°	9,363 „	+ 40°	50,700 „
	+ 20°	17,157 „	+ 100°	588,730 „

Für gewöhnlich ist die Luft nun nicht mit Wasserdampf gesättigt, sondern sie enthält davon eine geringere Menge; es könnte also von ihr bei derselben Temperatur noch mehr Wasser in Dampfform aufgenommen werden. Um den wirklichen Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre, oder richtiger gesagt, eines bestimmten lokalisierten Teiles davon zu beurteilen, bedient man sich mehrerer Faktoren, die nach später zu behandelnden Methoden bestimmt oder berechnet werden.

1. Die Wasserdampfmenge in Gramm, die in 1 cbm Luft bei einer gewissen Temperatur wirklich enthalten ist, heisst die absolute Feuchtigkeit.
2. Gibt man die vorhandene Zahl in Prozenten der für die betreffende Temperatur möglichen maximalen Feuchtigkeit ¹⁾ an, so heisst die resultierende Zahl die relative Feuchtigkeit.
3. Die Wasserdampfmenge in Gramm, die 1 cbm Luft bei einer gewissen Temperatur bis zur vollen Sättigung noch aufnehmen könnte, also die Differenz zwischen dem Sättigungsmaximum und dem absoluten Wassergehalt der Luft, heisst Sättigungsdefizit.

1) Das Maximum der für verschiedene Temperaturen möglichen Wasserdampfmengen in der Luft (Sättigungsmaximum) ist in der oben stehenden Tabelle nur kurz angegeben; eine genaue Tabelle enthält der Abschnitt „Physikalische Untersuchung der Luft“.

4. Diejenige Temperatur, für welche die vorhandene absolute Feuchtigkeit ausreicht, um die Luft völlig mit Wasserdampf zu sättigen, also mit andern Worten, diejenige Temperatur, für die augenblicklich die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, heisst

der Taupunkt.

Sobald diese Temperatur um ein Geringes erniedrigt ist, muss Taubildung eintreten.

„Verteilung¹⁾ der Luftfeuchtigkeit auf der Erdoberfläche: Die absolute Feuchtigkeit finden wir naturgemäss da bedeutend, wo hohe Temperatur, Windstille und die Möglichkeit zu reichlicher Wasserverdunstung gegeben ist. Maximal ist sie z. B. in Ceylon (Westküste), im Mexikanischen Meerbusen bei stillem Wetter, u. s. w.; in Cayenne beträgt sie im Mittel 21 mm²⁾. Das Minimum finden wir in den Polargegenden. Selbst in der Wüste ist sie noch erheblich höher (10 mm und mehr), als in Regionen mit extrem niederer Temperatur (vgl. Tabelle).

Örtliche Verteilung der Luftfeuchtigkeit.

	Mittlere absolute Feuchtigkeit (in mm)	Mittlere relative Feuchtigkeit (Prozente)	Mittleres Sättigungsdefizit (in mm)
Archangel	3,8	80	0,9
St. Petersburg	4,8	82	1,1
Königsberg	6,4	80	1,8
Kiel	6,7	82	1,5
Borkum	7,8	86	1,4
Berlin	6,8	74	2,6
Darmstadt	7,0	75	2,7
Breslau	6,6	75	2,5
Basel	6,7	75	2,2
Wien	6,9	72	2,1
Athen	9,1	62	5,6
Odessa	6,8	76	2,1
Tiflis	8,0	67	3,9
Bombay	19,3	77	5,8
Lahore	11,5	52	10,6
New York	6,6	67	3,2
Philadelphia	7,0	68	3,3.“

1) Entnommen aus: Flüge, Grundriss der Hygiene.

2) Da der Wasserdampf der Luft einen gewissen Druck ausübt, also auch den Barometerstand beeinflusst, so wird die absolute Feuchtigkeit sehr allgemein in Millimetern Quecksilberdruck angegeben; vgl. hierüber den Abschnitt „Physik der Luft“.

Die zeitlichen Schwankungen in der absoluten und relativen Feuchtigkeit, sowie im Sättigungsdefizit der Luft werden im meteorologischen Abschnitte zu berücksichtigen sein.

Die Ursachen dafür, dass die Atmosphäre nie und nirgends ohne Wasserdampf sein kann, liegen klar auf der Hand: Bei jeder Temperatur verdunstet ein Teil des Wassers, sodass alle Meere, Flüsse, Seen, Teiche u. s. w. die Luft mit Wasserdampf versorgen. Sogar unter 0° C. findet eine Verdunstung statt, sodass auch ein Teil des gefrorenen Wassers ohne zu schmelzen direkt aus dem festen in den gasförmigen Aggregatzustand übergeht. Das Gleichgewicht zwischen dem Wasser auf der Erdoberfläche und dem Wasserdampf in der Atmosphäre bleibt dadurch gewahrt, dass diese eben nur eine gewisse Menge Wasserdampf in Lösung halten kann, und dass der Ueberschuss immer wieder in Form der Niederschläge als flüssiges Wasser zur Erde gelangt.

6. Ozon.

Seit langer Zeit zählt man das Ozon als Bestandteil der atmosphärischen Luft auf und legt ihm in weiten Kreisen eine grosse Bedeutung für die Luftbeschaffenheit bei.

Das Ozon betrachtet man als eine besondere Modifikation des Sauerstoffes, und zwar als eine solche, bei der das Molekül aus drei Atomen zusammengesetzt ist, während es beim gewöhnlichen Sauerstoff nur aus zwei Einzelatomen besteht.

Das Ozon ist ein farbloses Gas von eigentümlich stechendem, an Chlorkalk erinnerndem Geruche, dessen Anwesenheit schon im Jahre 1785 durch van Marun wahrgenommen wurde; eigentlich entdeckt und benannt¹⁾ wurde es im Jahre 1839 durch Schönbein.

In reinem Zustande war das Ozon bis in die neueste Zeit nicht erhalten worden, vielmehr nur mit viel gewöhnlichem Sauerstoff gemischt. Um es zu erhalten, liess man nämlich elektrische Entladungen durch Sauerstoff hindurch erfolgen; doch geht eben niemals die Gesamtmenge des Sauerstoffes hierbei in die Ozonmodifikation über. Weiter bildet sich Ozon auch bei allen in grösserem Umfange verlaufenden Oxydationsprozessen.

Das Ozon wird auch als „aktiver Sauerstoff“ bezeichnet, weil es eine grosse Neigung hat, das dritte Atom Sauerstoff aus jedem seiner Moleküle abzuspalten und so wieder in die gewöhnliche Modifikation des Sauerstoffes überzugehen. Es hat also eine stark oxydierende Wirkung und zersetzt sich ebenso bei höherer

1) Von dem griechischen ὀζειν = riechen.

Temperatur wie bei Berührung mit den verschiedensten oxydablen Stoffen: Farbstoffe werden durch Ozon zerstört, Metalle oxydiert, ebenso organische Körper aller Art wie Staub und sonstige Luftverunreinigungen.

In neuester Zeit will man das Ozon rein dargestellt und genauer untersucht haben. Hiernach hat man es aus ozonisierter Luft durch einen Druck von 125 Atmosphären und eine Abkühlung auf -105° C. verdichten können, und zwar als tief indigoblaue, selbst unter gewöhnlichem Atmosphärendruck nur langsam verdampfende Flüssigkeit, deren Siedepunkt bei -106° C. liegt. Das Ozongas selbst zeigt in längerer Schicht auch eine bläuliche Färbung.

Die immer wiederholte Erwähnung des Ozons als Luftbestandteil und die überall mit Eifer vorgenommenen Ozonbestimmungen — trotzdem die (später zu behandelnden) Methoden hierfür längst als ganz ungenau und wenig beweisend erkannt worden sind — müssen unwillkürlich den Gedanken erwecken, dass diesem Gase eine ausserordentlich hohe Bedeutung, zumal in hygienischer Hinsicht, zuzusprechen sei. Das ist aber keineswegs der Fall.

Das Ozon bildet sich in der Atmosphäre durch elektrische Entladungen, die übrigens nicht immer die Form von Gewittern annehmen müssen, sondern viel häufiger still und den Sinnen sonst kaum bemerkbar verlaufen. Eine weitere Quelle des Ozongehaltes in der Luft bilden, wie schon erwähnt wurde, alle in grösserem Umfange ablaufenden Oxydationsprozesse.

Stets macht das Ozon, falls es überhaupt vorhanden ist, nur einen verschwindenden Bruchteil unter den Bestandteilen der Atmosphäre aus. Im Mittel sind etwa 2 mg Ozon in 100 cbm Luft gefunden worden. Die grössten Mengen beobachtete man nach Gewittern, bei feuchter, etwas bewegter Luft, bei Schneefall und im Frühjahr; am geringsten ist der Ozongehalt bei Windstille (kurz vor Gewittern), bei trocknen nördlichen und nordöstlichen Winden und im Herbst. Auch nach den örtlichen Verhältnissen schwankt der Ozongehalt stark; er steigt auf Bergen, in Wäldern, am Meer; er sinkt oder verschwindet ganz innerhalb grosser, dicht bevölkerter Städte; in bewohnten Räumen ist Ozon niemals nachzuweisen.

Was nun die hygienische Bedeutung des Ozons anlangt, so sei gleich hier bemerkt, dass von einer solchen kaum oder jedenfalls nur so weit gesprochen werden kann, als die Anwesenheit des Ozons ein günstiges Kriterium für den Reinheitsgrad der Luft bildet: Da das Ozon von allen organischen Stoffen sogleich zersetzt wird, so ist mit der Feststellung seines Vorhandenseins gleichzeitig bewiesen, dass die untersuchte Luft zur Zeit frei von allem organischen Staub, übelriechenden Stoffen u. s. w. ist. Ist eine derartig reine Luft dem

Organismus besonders zuträglich, so liegt der Grund dafür eben in dem Fehlen der Verunreinigungen, nicht in der Anwesenheit des Ozons. Auch die früher oft behauptete abtötende Wirkung des Ozons gegenüber den Mikroorganismen hat sich bei den für die Luft überhaupt in Frage kommenden Konzentrationen in keiner Weise bestätigt.

Reines Ozon ist übrigens ein der Gesundheit keineswegs zuträglicher Stoff. Flügge (l. c.) schreibt darüber: „Halten sich Menschen in einer künstlich stark ozonhaltig gemachten Zimmerluft auf, so treten bei den meisten unwillkürliche Muskelzuckungen, bei einigen Schläfrigkeit und Schlaf ein; ferner zeigen sich Symptome einer Reizung der Respirationsschleimhaut, bei einigen sogar blutige Sputa. Bei noch stärkerem Ozongehalt kommt es zu Glottiskrampf und sehr heftiger Reizung der Schleimhäute.“

7. Wasserstoffsperoxyd.

Das Wasserstoffsperoxyd ist, wie das Wasser, eine Verbindung von Wasserstoff mit Sauerstoff, aber eine solche, die im Molekül nicht wie das Wasser 1 Atom, sondern 2 Atome Sauerstoff enthält. Diese Zusammensetzung macht es erklärlich, dass das Wasserstoffsperoxyd, ähnlich wie das Ozon, leicht Sauerstoff abspaltet, wobei es in Wasser übergeht.

Das Wasserstoffsperoxyd ist in reinem Zustande eine syrupähnliche, dickflüssige, wasserklare Flüssigkeit, die an der Luft stark verdunstet. Es sind diese Eigenschaften erst im Jahre 1894 durch Wolfenstein ermittelt worden. In grösseren Schichten ist übrigens das Wasserstoffsperoxyd blau gefärbt; sein spezifisches Gewicht beträgt 1,5. In Wasser ist das Wasserstoffsperoxyd sehr leicht löslich.

In der Natur bildet sich das Wasserstoffsperoxyd bei vielen Oxydationen, wenn gleichzeitig Wasser zugegen ist, ja es entsteht schon bei der Verdunstung von Wasser überhaupt.

Hieraus geht ohne weiteres hervor, dass die Luft fast stets Wasserstoffsperoxyd, wenn auch nur in Spuren, enthält. Man hat neuerdings erkannt, dass ein grosser Teil dessen, was man früher als Ozon angesehen hat, eigentlich Wasserstoffsperoxyd war, und dass das Ozon jedenfalls, nach Menge und Häufigkeit des Auftretens in der Atmosphäre, hinter dem Wasserstoffsperoxyd weit zurücktreten muss. Es erklärt sich die Verwechslung leicht durch die Ähnlichkeit im Verhalten beider Stoffe. Übrigens ist die oxydierende Kraft des Wasserstoffsperoxydes nicht ganz so gross, wie die des Ozons¹⁾.

1) Merkwürdig ist, dass das Wasserstoffsperoxyd unter Umständen auch die entgegengesetzte Wirkung ausüben, nämlich andere Körper reduzieren, also ihnen Sauerstoff entziehen kann, so reduziert es z. B. Kaliumpermanganat.

Der Gehalt der Luft an Wasserstoffsuperoxyd ist leichter nachzuweisen als der an Ozon, weil sich ersteres in den atmosphärischen Niederschlägen, im Regenwasser und im Schnee, löst und darin gesammelt wird; man kann also entweder diese Niederschläge auf Wasserstoffsuperoxyd untersuchen oder künstliche Taubildung bewirken. In 1 l Niederschlag lassen sich im Durchschnitt 0,2 mg Wasserstoffsuperoxyd ermitteln; den grössten Gehalt findet man im Juni und Juli sowie bei westlichen Winden, sehr wenig dagegen im Hagel und Schnee.

Ob das Wasserstoffsuperoxyd in der Atmosphäre in irgend einer Hinsicht Bedeutung beanspruchen kann, erscheint ebenso zweifelhaft wie beim Ozon. Auf Menschen und auch auf Mikroorganismen bleiben die Wasserstoffsuperoxydmengen der Luft jedenfalls ohne Wirkung.

Nicht unwahrscheinlich ist nur, dass einige Bleichprozesse (Rasenbleiche) erst durch die Wirkung des Wasserstoffsuperoxyds ermöglicht oder zum mindesten befördert werden.

8. Ammoniak.

Das Ammoniak fehlt in der Luft niemals, jedoch macht es nur einen minimalen Prozentsatz aus. Es findet sich übrigens niemals als freies Ammoniak in der Atmosphäre, sondern mit Kohlendioxyd zu Ammoniumcarbonat verbunden; viel seltener sind Ammoniumnitrit, Ammoniumnitrat und andere Ammoniumverbindungen beobachtet worden.

Das Ammoniak selbst ist ein farbloses Gas vom spezifischen Gewicht 0,586 (auf Luft = 1 bezogen). 1 l Ammoniak wiegt bei 0° unter 760 mm Druck = 0,7619 g. Es hat einen eigenartigen, durchdringenden, sehr charakteristischen Geruch und einen ätzenden alkalischen Geschmack. Es löst sich sehr leicht und reichlich in kaltem Wasser; diese Lösung führt den Namen Ammoniakflüssigkeit (Salmiakgeist), sie entwickelt reichlich Dämpfe von gasigem Ammoniak.

Das Ammoniak der Luft bildet sich hauptsächlich bei der Fäulnis stickstoffhaltiger organischer Substanzen, namentlich an der Bodenoberfläche. Zumal die Endprodukte des tierischen Stoffwechsels, besonders der Harn sind reich an Harnstoff, der bei der Fäulnis unter Wasseraufnahme in kohlen-saures Ammoniak übergeht.

Nach Schloesing soll das Meer die Hauptquelle des atmosphärischen Ammoniaks sein. Das Meerwasser enthält nämlich 0,4 mg Ammoniak pro Liter, wovon ein Teil durch Verdunstung in die Atmosphäre übergeht.

Streng genommen dürfte das Ammoniak nicht unter den gasförmigen Luftbestandteilen aufgeführt sein, weil es eben nicht selbst (als Gas) darin vorkommt, sondern nur in Form der teils wenig, teils garnicht flüchtigen — also nur mechanisch mitgeführten — Salze. Hieraus erklärt es sich übrigens, dass das Ammoniak in der Luft bei weitem nicht so gleichmässig verteilt ist wie die andern, bisher behandelten gasförmigen Bestandteile der Atmosphäre. Durchschnittlich hat man pro cbm Luft zwischen 0,02 und 30 mg Ammoniak festgestellt; jedoch sind in einzelnen Fällen weit erheblichere Mengen aufgefunden worden.

In den Städten ist der Ammoniakgehalt der Luft gewöhnlich viel grösser als auf dem Lande wegen der vielfachen Fäulnisvorgänge und der Ausdünstungen aller möglichen Arten von Stoffen, die man nicht immer vermeiden kann. Bei der Düngung der Felder ist die momentan und auf einem kleinen Raum entwickelte Menge an Ammoniak (und Fäulnisgasen) im Verhältnis zu dem in Betracht kommenden Atmosphärenteil gänzlich belanglos und kann jedenfalls eine irgendwie nachhaltige Verschlechterung der Luftbeschaffenheit nicht mit sich bringen.

Zieht man die geringen Ammoniakmengen der Luft in Betracht, so kann von einer direkt schädlichen Wirkung auf die Atmung nicht die Rede sein. Hingegen bietet seine Anwesenheit in grösserer Menge an irgend einem Orte einen wertvollen Beweis dafür, dass dieser Platz ungesund und die Stätte einer lebhaften Fäulnis stickstoffhaltiger Überreste ist.

9. Salpetrige Säure und Salpetersäure.

Auch die salpetrige Säure und die Salpetersäure sind im freien Zustande nicht in der Luft vorhanden, vielmehr nur, wie erwähnt, als Ammoniumnitrit und Ammoniumnitrat.

Die Salze der salpetrigen Säure (Nitrite) und der Salpetersäure (Nitrate) bilden sich in grossen Mengen aus verwesenden stickstoffhaltigen (pflanzlichen und tierischen) Stoffen. Für die Atmosphäre kommen jedoch die so gebildeten Nitrite und Nitrate kaum in Betracht; wenigstens ist bisher der Beweis für das Gegenteil nicht erbracht worden.

Das Ammoniumnitrit und Ammoniumnitrat bilden sich in der Luft selbst durch chemische Verbindung des Stickstoffes mit dem Sauerstoff, und zwar kommt eine solche zustande, wenn elektrische Entladungen durch feuchte Luft hindurch stattfinden. So tragen die Gewitter zur Bildung kleiner Mengen der genannten Salze bei, und

die so gebildet sind es, die einen zwar wechselnden, aber nie ganz fehlenden Bestandteil der Atmosphäre ausmachen.

10. Schweflige Säure und Schwefelsäure.

Die schweflige Säure ist stets in der Umgebung der Vulkane zu finden, weil deren Ausströmungen einen beträchtlichen Prozentsatz daran enthalten.

Weiter pflegt die Luft in der Nähe grosser Industrie-Centren mehr oder minder mit schwefliger Säure beladen zu sein. Diese stammt zumeist aus dem Schwefelgehalt der Steinkohlen: Der Durchschnittsgehalt der Steinkohlen an Schwefel beträgt 1,7 %; bei der Verbrennung der Kohle wird diese Schwefelmenge mit verbrannt, d. h. in Schwefeldioxyd (schweflige Säure) übergeführt.

Das Schwefeldioxyd ist für gewöhnlich ein farbloses, erstickend riechendes Gas von spezifischem Gewicht 2,22 (auf Luft = 1 bezogen); der Geruch des Schwefeldioxydes ist allgemein bekannt, er entwickelt sich beim Verbrennen von Schwefel, also auch beim Anzünden eines gewöhnlichen (nicht schwedischen) Zündhölzchens. Das Schwefeldioxyd löst sich ziemlich reichlich in Wasser; auch lässt es sich schon bei gewöhnlicher Temperatur durch einen Druck von etwa 3 Atmosphären zu einer farblosen, leicht beweglichen Flüssigkeit verdichten. Diese hat bei -20° C. das spezifische Gewicht 1,49 (auf Wasser = 1 bezogen); bei -76° C. wird das flüssige Schwefeldioxyd fest und kristallinisch.

Das Schwefeldioxyd hat eine grosse Neigung zum Sauerstoff; es reduziert viele Körper, d. h. es entzieht ihnen Sauerstoff und wird durch diesen selbst weiter zu Schwefelsäure oxydiert. Auf dieser Verwandtschaft zum Sauerstoff beruht die Verwendung des brennenden Schwefels (oder vielmehr des hierbei entwickelten Schwefeldioxydes) zum Bleichen von Seide, Wolle und Stroh; weiter ist das Schwefeldioxyd ein energisches Antiseptikum: es vernichtet Fäulnis und Gärungserreger, weshalb es zur Konservierung von Fleischwaren, zum „Schwefeln“ des Weines, zum Desinfizieren verwendet wird.

Dass das Schwefeldioxyd so leicht weiter zu Schwefelsäure oxydiert wird, giebt auch die Erklärung dafür ab, dass es eben nur in allernächster Nähe von Vulkanen, Röstöfen¹⁾ und grossen Industrie-

1) In den Röstöfen werden schwefelhaltige Erze unter Luftzutritt erhitzt (geröstet); hierbei wird der Schwefel zu Schwefeldioxyd verbrannt, während andererseits das Schwefelmetall des Erzes in Metalloxyd übergeführt wird. Dieses wird dann weiter verarbeitet. — Das Rösten ist eine im Hüttenbetriebe ausserordentlich häufig ausgeführte Operation.

bezirken als Luftbestandteil gefunden wird und sogar häufig genug auch dort fehlt.

In solchen Fällen lässt sich dann in der Atmosphäre das Oxydationsprodukt des Schwefeldioxydes, nämlich die Schwefelsäure auffinden. Nach Flügge wird die Menge der Schwefelsäure zuweilen quantitativ bestimmbar; so fand man in Manchester in 1 cbm Luft 2,5 mg Schwefelsäure.

Bei verschiedenen Grossbetrieben der chemischen Technologie werden Dämpfe der Schwefelsäure direkt in grossen Mengen entwickelt, so in Töpfereien, Ultramarin-, Alaun- und Schwefelsäurefabriken. Trotzdem in diesen Fällen die weitgehendsten Vorsichtsmassregeln dagegen getroffen werden, kommt es doch häufig genug vor, dass eine gewisse Menge der Schwefelsäuredämpfe dabei entweicht und in die Luft übergeht.

Die Schwefelsäure ist, wie allgemein bekannt, eine der stärksten aller Säuren überhaupt, und es ist demnach nicht zu verwundern, dass die Schwefelsäuredämpfe — seien sie nun als solche in die Atmosphäre gelangt oder erst darin durch Oxydation von Schwefeldioxyd entstanden — als schädliche Verunreinigungen der Luft anzusehen sind. Zumal die Vegetation wird von einem selbst minimalen Gehalt der Luft an Schwefeldioxyd oder Schwefelsäure äusserst ungünstig beeinflusst; wir kommen darauf im Kapitel „Bedeutung der Luft für die Pflanzenwelt“ zurück.

11. Schwefelwasserstoff.

Der Schwefelwasserstoff ist ein widerlich nach faulen Eiern riechendes Gas. In der Natur tritt es nur in spärlichen Mengen auf, so in den Gasen, die den Vulkanen entströmen.

Grössere Schwefelwasserstoffmengen bilden sich bei der Fäulnis schwefelhaltiger organischer Substanzen, namentlich des Eiweisses und eiweissreicher Stoffe. In den Gasen, die aus Dunggruben aufsteigen (Kloakengas, Mistgrubengas, Latrinengas) ist demgemäss Schwefelwasserstoff fast stets vorhanden.

Vergiftungen durch Luft, die einen hohen Schwefelwasserstoffgehalt zeigt, sind nicht selten. „Solche ¹⁾ kommen nicht nur für die mit der Entleerung von Dunggruben beschäftigten Arbeiter selbst in Betracht, sondern es kann schon der Aufenthalt und namentlich das Schlafen in der Nähe geöffneter Latrinen ausserordentliche Gefahren mit sich bringen; selbst die Rettung und Behandlung derartig vergifteter Personen ist äussert gefährlich. — Die Giftigkeit

1) Aus Blücher, Gifte und Vergiftungen. Leipzig 1899.

des Schwefelwasserstoffes ist ausserordentlich hoch. Enthält die Atmungsluft 2 Teile Schwefelwasserstoff auf 10 000 Teile Luft, so treten schon Vergiftungserscheinungen auf, deren Heftigkeit sich nach der Dauer der Einatmung richtet.“

Im allgemeinen hält sich der Schwefelwasserstoffgehalt der Luft übrigens — wenn dieses Gas überhaupt vorhanden ist — auf weit niedrigerer Höhe, als dass er direkt gesundheitsschädlich zu wirken imstande wäre. Der Geruchssinn ist gegenüber Schwefelwasserstoff so ausserordentlich empfindlich, dass in 50 ccm Riechluft noch $\frac{1}{5000}$ mg (!) Schwefelwasserstoff wahrgenommen werden. Über die hygienische Bedeutung so geringer Luftverunreinigungen werden wir noch später im Kapitel „Hygiene der Luft“ zu sprechen haben. Vgl. auch S. 23.

Sicher ist, dass — abgesehen von ganz besonderen Verhältnissen — wie Nähe von Vulkanen oder Schwefelquellen — ein Schwefelwasserstoffgehalt der Luft einen Rückschluss dahin gestattet, dass unweit von dem in Frage kommenden Orte sich Fäulnisherde befinden müssen.

12. Kohlenoxyd.

Auch das Kohlenoxyd ist kein regelmässiger Luftbestandteil, vielmehr ein solcher, der nur unter aussergewöhnlichen Umständen sich darin findet. Der Kohlenoxydgehalt der Luft ist aber weit wichtiger, als der an andern gasförmigen Verunreinigungen, weil das Kohlenoxyd eine ausserordentliche Giftigkeit besitzt.

Im reinen Zustande ist das Kohlenoxyd ein farb- und geruchloses Gas, und seine Gefährlichkeit ist eben gerade um deshalb so hoch anzuschlagen, weil es unsern Sinnen ganz verborgen bleibt.

Das Kohlenoxyd entsteht überall da, wo Kohlen und sonstige kohlenstoffreiche Substanzen unter mangelndem Luftzutritt verbrennen. Als Ursachen des Kohlenoxydgehaltes der Luft sind in erster Linie Entwicklung von Kohlendunst, Ausströmen von Leuchtgas und von Wassergas sowie von Minengasen zu nennen. Auch Stümpfe und Moräste entwickeln oft, zumal bei hoher Temperatur, erhebliche Mengen von Kohlenoxyd.

„Als¹⁾ Kohlendunst bezeichnet man ein Gemisch aus gewöhnlicher Luft mit den Gasen, die aus glühenden Kohlen, Torf u. s. w. aufsteigen. In solchem Kohlendunst sind gewöhnlich 0,3 bis 0,6 % Kohlenoxyd gefunden worden, und es bezeugt ohne weiteres die grosse Giftigkeit des letztgenannten Gases, dass der Kohlendunst trotz des geringen Gehaltes daran in so überaus zahlreichen Fällen

1) Aus Blücher a. a. O.

Erkrankung und Tod herbeigeführt hat. Von 432 Vergiftungen, die man innerhalb 3 Jahren in Berlin beobachtete, waren 155 (mit 119 Todesfällen) allein durch Kohlendunst verursacht ¹⁾.

Die Ursachen der Kohlendunstentwicklung sind: Vorzeitiger Abschluss der Ofenklappe; heftiger Wind, der die Gase im Schornstein zurückdrückt; Benutzung der ausserordentlich schädlichen Karbon-Natron-Öfen (ohne Abzugsrohr); gewöhnliche Öfen, die aber Risse oder Sprünge haben, und anderes mehr.

Das Leuchtgas, das man durch trockne Destillation von Steinkohlen (Steinkohlengas) oder Holz (Holzgas) erhält, ist an Kohlenoxyd sehr reich. Denn schon das gewöhnliche, gereinigte Steinkohlenleuchtgas zeigt durchschnittlich einen Gehalt von 6 bis 10 0/0; Holzgas enthält bis über 50 0/0 Kohlenoxyd, und ebensoviel das neuerdings mehr und mehr zur Einführung gelangende Wassergas, das man durch Überleiten von Wasserdampf über glühende Kohlen gewinnt.“

Die Minengase, wie sie bei Sprengungen mit Pulver, Schiessbaumwolle u. s. w. auftreten, haben (abgesehen von andern schädlichen Gasen wie Schwefelwasserstoff, Stickoxyd u. s. w.) einen Gehalt an Kohlenoxyd, der mindestens 4 0/0 beträgt, oft aber bis über 30 0/0 steigt.

13. Kohlenwasserstoffe.

Unter Kohlenwasserstoffen versteht man besondere organische Verbindungen, die nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Ein grosser Teil der Kohlenwasserstoffe ist gasförmig, jedoch giebt es auch flüssige und feste Kohlenwasserstoffe.

Mancherlei Kohlenwasserstoffe kommen unter Umständen als Bestandteil der Luft vor. So bilden sich gasförmige Kohlenwasserstoffe bei der Fäulnis; so entsteigt den Sümpfen und Morästen das giftige (erstickende) und in Verbindung mit Luft leicht explodierbare Sumpfgas, auch Methan genannt; in Bergwerken bildet sich sehr häufig das dem Methan gleich zusammengesetzte und ebenso wirkende Grubengas, dessen Mischung mit Luft unter dem Namen „schlagende Wetter“ allgemein bekannt und gefürchtet ist.

Flüssige Kohlenwasserstoffe von Bedeutung sind die Bestandteile des Erdöles, deren Dämpfe nicht selten in der Luft vorkommen. So können Gasolin, Benzin, Ligroïn, Petroleumäther und namentlich Petroleum (Steinöl, Solaröl) in

1) In neuerer Zeit hat sich die Zahl der Kohlenoxydvergiftungen durch radikale Beseitigung der Ofenklappen sehr vermindert.

Dampfform eine unangenehme, zuweilen sogar bedenkliche und schädliche Verunreinigung lokal beschränkter Teile der Atmosphäre ausmachen.

Von festen Kohlenwasserstoffen sei hier nur das Naphtalin erwähnt, das schon bei gewöhnlicher Temperatur verdunstet. Da das Naphtalin (abgesehen von sehr ausgedehnter technischer Verwendung) ein viel gebrauchtes Mittel zur Vertreibung von Motten ist, so kommen Naphtalindämpfe unter Umständen als Verunreinigung der Zimmerluft vor.

14. Fäulnisgase.

Von den bei der Fäulnis auftretenden Gasen sind das Ammoniak, der Schwefelwasserstoff und das Sumpfgas schon behandelt. Ausser den genannten entwickeln sich nun aber bei der Fäulnis und bei ähnlichen Prozessen noch mannigfache andere Gase, deren Natur bisher so gut wie unaufgeklärt geblieben ist, und die man unter dem gemeinschaftlichen Namen „Fäulnisgase“ zusammenfasst. Hierher gehören auch die Ausdünstung feuchter und unreiner Kleidungsstücke, diejenige alter vermodernder Pflanzen und Pflanzenteile, sowie weiter namentlich gewisse, ihrer Natur nach noch gänzlich unerforschten Bestandteile der Ausatmungsluft.

Flügge (l. c.) sagt: „Die hygienische Bedeutung dieser gasförmigen Verunreinigungen der Luft ist noch nicht völlig klar gestellt. Vielen Menschen erweckt eine übelriechende Luft¹⁾ Widerwillen und Ekel, bei längerem Aufenthalt Appetitlosigkeit und Übelkeit; der Respirationstypus ändert sich, die Atemzüge werden so oberflächlich als möglich; man hat den Eindruck, als befände sich der Körper in Gefahr und sucht instinktmässig der übelriechenden Luft zu entfliehen. — Es ist indessen nicht ganz leicht, diese instinktive Empfindung einer schädlichen Wirkung im einzelnen zu begründen.“ Man kann nur annehmen, dass einesteils das Ekelgefühl als solches durch den Geruchssinn angeregt wird und so unser Wohlbefinden stört. Andernteils wird gesagt, dass der üble Geruch der Luft überhaupt auf Unreinlichkeit hindeutet, die ihrerseits wieder die Entwicklung schädlicher Infektionserreger unterstützt. Jedoch könnte der letzteren Ansicht entgegen gehalten werden, dass die Erreger der Fäulnis gerade die krankheitserzeugenden Bakterien zu vernichten pflegen. —

1) Dass gerade die Ausatmungsluft in gewissem Sinne als schädlich oder giftig anzusehen ist, dafür spricht die bekannte Thatsache, dass die Luft in Schlafsälen, Kasernenstuben u. s. w. morgens auf frisch eintretende Personen brechreizend wirkt, ja zuweilen Ohnmachten veranlasst.

Früher herrschte allgemein die Ansicht — und es wird auch heute noch in weiten Kreisen geglaubt —, dass alle, oder doch ein Teil der sogen. Infektionskrankheiten durch *Miasmen*, d. h. durch riechende Gase verursacht werden. Diese Ansicht ist aber ganz entschieden als irrtümlich zu bezeichnen: Alle exakten Forschungen der Neuzeit haben bewiesen, dass die Infektionskrankheiten auf organisierte Erreger zurückzuführen sind. Diese werden, soweit sie in der Luft vorkommen können, noch in einem späteren Abschnitt zu behandeln sein.

B. Staubförmige Verunreinigungen.

Die Menge des Staubes in der Luft ist ausserordentlich verschieden, je nach dem Orte der Beobachtung, nach dem Wetter im allgemeinen und der Luftfeuchtigkeit im besondern.

Der Luftstaub ist teils unorganischer, teils organischer Natur. Ein Teil der unorganisierten Staubpartikel ist nach den Untersuchungen von Tissandier¹⁾ kosmischen Ursprungs. Der grösste Teil jedoch besteht aus Strassenstaub, Flugstaub technischer Betriebe, Kohlenruss u. s. w.

Im allgemeinen scheidet man die in der Luft schwebenden Elemente nach den Angaben von Flügge in gröbere Staubpartikel, Russ, Sonnenstäubchen und Mikroorganismen.

1. Grobe Staubteilchen.

Grob sichtbarer Staub ist nur in unreinerer Luft enthalten; in der Strassenluft der Grossstädte wurden davon 0,2—25 mg in 1 cbm Luft gefunden. Die geringsten Mengen groben Staubes liessen sich kurz nach Regen, bei feuchtem Boden und, der Jahreszeit nach, im Frühjahr ermitteln. Umgekehrt erweist sich die Luft am staubreichsten bei trockner Erdoberfläche und bei heftigen, trocknen Winden; was die Jahreszeit betrifft, so wurde die Luft im Sommer als mit dem höchsten Staubgehalt behaftet ermittelt.

Im allgemeinen besteht der Staub überwiegend aus anorganischer Substanz, aus Gesteins- und Bodenpartikelchen, die der verwitterten Erdoberfläche entstammen. Es ist demnach selbstverständlich, dass die atmosphärischen Staubmengen nach der Örtlichkeit

1) Compt. rend. de l'Acad. des sciences. LXXXVI. 1552.

wechsell: In erster Linie muss das Gesteinsmaterial der Bodenoberfläche verhältnismässig leicht verwittern und — was vor allem wesentlich — dabei in sehr feinkörnige Massen zerfallen, wenn sich viel Staub bilden soll. Weiter wird die Atmosphäre sich dort am stärksten mit Staub beladen können, wo die absolute Feuchtigkeit — überhaupt oder wenigstens durch einen grossen Teil des Jahres — sehr gering ist, mit andern Worten also, wo ein trocknes Klima herrscht. Zu allem diesem kommt als den Staubgehalt der Atmosphäre erhöhender Einfluss noch das Vorherrschen lebhafter Winde hinzu: „Besonders in der tropischen und subtropischen Zone, speziell im Pendschab, in Ägypten, der Sahara u. s. w. kommt es in einem Teil des Jahres zu heftigen Staubwinden, die mit enormen Massen von Staub die Luft im Freien und selbst im Innern der Wohnräume erfüllen und zu einer höchst lästigen Plage werden.“

Etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ des grösseren Luftstaubes besteht aus organischen Partikelchen der allerverschiedensten Herkunft und Natur. Da findet man in dem Staube der Strassenluft alle möglichen Faserteilchen, so von Wolle, Baumwolle, Leinen, Hanf, Jute u. s. w.; dann Stärkekörner und Granenteilchen der Mehle, ausgetrockneten und zerstäubten Pferdedünger, Haare und zahllose Pflanzenteilchen. Unter den Pflanzenteilen sind wichtig die überaus grossen Mengen von Keimen, Pollenkörnern und Sporen, deren Aufgabe es geradezu ist, vom Winde fortgetragen zu werden und an irgend einem andern Orte zur Fortpflanzung der Art beizutragen ¹⁾).

2. Russ.

Der Gehalt der Luft an Russ und Rauch kam früher weit weniger in Betracht, als in neuerer Zeit. Das „Zeitalter des Dampfes“ hat es eben mit sich gebracht, dass ungeheuere Mengen von Feuerungsmaterial, namentlich Steinkohle, verbrannt werden, dass überall, wo die Industrie ihre Sitze aufgeschlagen hat, dunkle Wolken^o von Rauch und Russ den hohen Schloten entqualmen und sich in die Atmosphäre verteilen. Deshalb finden sich Russ und Rauch in Industriegegenden und in der Nähe von Moorbrennereien in enormer Menge der Luft beigemischt; aber wenn auch nicht ganz so bedeutend, so doch immer erheblich genug, sind auch die Russmengen, die den Schornsteinen der grossen Städte überhaupt entsteigen, da sich die Kohle auch als Feuerungs- und Heizungsmaterial der Haushaltungen einen herrschenden Platz erworben hat.

1) Die unter dem Namen „Schwefelregen“ bekannte Erscheinung ist nichts weiter, als der Blütenstaub von Nadelhölzern, der vom Winde oft viele Meilen weit weggetragen wird.

Es sind nicht nur hygienische Bedenken, die sich dem Anwachsen des Russgehaltes der Luft entgegenstellen, sondern ebenso grosse auch der Ökonomie: Man rechnet den „Verlust durch den Schornstein“ zu 16 % des gesamten theoretischen Heizungseffektes der Kohle. Dieser „Verlust durch den Schornstein“ setzt sich zusammen aus den direkt abstreichenden Wärmemengen, dem Russ, der Flugkohle und dem noch brennbaren Anteile der Schornsteingase.

Sowohl aus ökonomischer Rücksicht, wie andererseits um die Klagen der umwohnenden Bevölkerung zu beseitigen¹⁾, beschäftigen sich die Techniker seit vielen Jahren mit der Frage der Rauchverbrennung, d. h. mit dem der rauchlosen Feuerung. Vollständige Erfolge sind in dieser Hinsicht jedoch bisher keineswegs erreicht worden. Es liegt dies im Prinzip der Aufgabe selbst: „Eine²⁾ Konstruktion, welche jede Möglichkeit des Rauchens ausschliesst, giebt es nicht und kann es nicht geben. Es kommt bei der Rauchlosigkeit besonders darauf an, den Brennstoff und die entsprechende Menge Verbrennungsluft ununterbrochen, gut gemischt, recht gleichmässig und in der dem Wärmebedarf entsprechenden Menge dem möglichst hochglühenden Verbrennungsraume zuzuführen. Dieses Ziel ist durch mechanische Beschickungsvorrichtungen des Planrostes ziemlich annähernd zu erreichen; solche Anordnungen sind mehrfach ausgeführt, sie bestehen immer in einem Wurfmechanismus. Trotzdem sie schon seit Jahren stellenweise im Betriebe sind, können sie nur langsam Eingang finden. Ein Hindernis für die allgemeine Einführung ist die Bedingung einer sortierten Kohle von gleichmässiger Stückgrösse in beschränkten Grenzen. Auch erhalten die Apparate für den Zweck einer Feuerung nicht die erwünschte Einfachheit und benötigen stets sachgemässe Aufsicht. Schliesslich bleibt immer noch etwas Handarbeit übrig, wie z. B. Egalisieren und Aufdrücken der Kohlenschicht, Abschlacken u. s. w.“ — Zu allem kommt eben, dass der beabsichtigte Zweck der Rauchverbrennung nie vollständig erreicht wird, selbst wenn man statt des Planrostes einen geeigneten Rost, einen Treppenrost u. s. w. verwendet. Ganz unökonomisch sind diejenigen Rauchverbrennungssysteme, denen nur die nachträgliche Zuführung besonderer Verbrennungsluft zu Grunde liegt.

1) Aus gleichem Grunde steigt stetig die Höhe der Essen (Schlöte); aber dieses Mittel, das eine weitere Verbreitung und Verteilung der Russbestandteile in der Atmosphäre anstrebt, kann nur bis zu einem gewissen Grade Abhilfe schaffen. Bei nasser Witterung und bei abwärts streichenden Winden versagt es ganz.

2) Aus Joly, Technisches Auskunftsbuch für 1897.

Alles, was man unter dem Namen Russ (und Rauch) zusammenfasst, besteht nicht aus Kohlentelchen allein, sondern aus einer Mischung dieser mit dichten Kohlenwasserstoffen. Zum Überfluss entwickeln sich mit dem Russ gleichzeitig verschiedene gasförmige Stoffe, deren wir schon früher gedachten, wie schweflige Säure, Schwefelsäure, Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffgase u. s. w.

3. Sonnenstäubchen.

Als Sonnenstäubchen bezeichnet man ausserordentlich kleine Partikelchen sehr verschiedenen Ursprunges, die so leicht sind, dass sie sich selbst bei ganz ruhiger Luft nicht zu Boden senken und von den geringfügigsten Strömungen fortbewegt werden; ihr Vorhandensein ist bis in die grössten bisher erreichten Höhen der Atmosphäre hinein nachgewiesen worden.

Die Sonnenstäubchen bestehen aus allerlei organischem Abfall, aus feinsten Fäserchen verschiedener Abstammung, zum Teil auch nur aus kleinen Ballen von Mikroorganismen.

Für gewöhnlich sind die Sonnenstäubchen in der Luft nicht sichtbar; sie können jedoch stets und aufs leichteste mit blossem Auge wahrgenommen werden, wenn man einen Lichtstrahl in ein dunkles Zimmer, oder einen Sonnenstrahl in einen verhältnismässig wenig beleuchteten Raum einfallen lässt: Nur durch die nie fehlenden Sonnenstäubchen wird der Gang des Lichtstrahls in dem betreffenden Raum unserm Auge auf das schärfste erkennbar.

Die Sonnenstäubchen spielen übrigens in der Natur eine sehr wichtige Rolle; sie sind es nämlich, die ein Naturphänomen von weittragender Bedeutung allein ermöglichen: Wie schon Seite 12 ausgeführt ist, muss bei der Abkühlung eines mit Wasserdampf vollständig gesättigten Luftquantums sich ein Teil des Wassers ausscheiden. Damit diese Ausscheidung nun in der besondern Form des Nebels vor sich geht, ist das Vorhandensein irgend welcher festen Körper in der Luft nötig, an denen sich eben die Dampfteilchen kondensieren können. Diese Rolle der Vermittler bei der Nebelbildung spielen in erster Linie die Sonnenstäubchen. Dass diese Ansicht nicht etwa nur eine Hypothese ist, zeigt ein einfacher Versuch: In vollkommen staubfreier Luft, z. B. in solcher, die man durch Watte filtriert hat, gelingt es auf keine Weise durch Temperaturenniedrigung Nebelbildung hervorzubringen, wenn man auch dafür gesorgt hat, dass die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist; die Kondensation erfolgt in solchem Falle nur an den Wandungen des für den Versuch verwendeten Begrenzungsgefässes.

4. Mikroorganismen.

Die organisierten Elemente des Luftstaubes sind sehr verschiedener Natur. Hauptsächlich sind Sporen von Schimmelpilzen, Sprosspilzen (Hefen) und Spaltpilzen zu nennen; doch müssen nach neueren Forschungen wohl auch die Keime von tierischen Lebewesen unter Umständen die Luft bevölkern können. Es erscheint aus praktischen Gründen zweckmässig, die Mikroorganismen der Luft in folgender Weise einzuteilen¹⁾:

a) Schimmelpilze.

Die Schimmelpilze pflanzen sich dadurch fort, dass aus einem Keim lange Fäden (Hyphen) auswachsen, die, vielfach verzweigt, ein verschlungenes Flechtwerk, das Mycel bilden. Bei der Fruktifikation erheben sich aus dem Mycel besonders gestaltete Fruchträger (Fruchthyphen), auf denen sich dann die Früchte, Sporen (Conidien) entwickeln. Diese Sporen sind es dann, die unter Umständen durch Strömungen in die Luft emporgewirbelt werden.

Die Fruktifikation der Schimmelpilze, die nicht in der als Nährmaterial dienenden Unterlage, sondern über derselben in der Luft erfolgt, findet bei den einzelnen, äusserst zahlreichen Schimmelpilzgattungen in verschiedener Weise statt, sodass man auf diesen Vorgang die Einteilung der Schimmelpilze gründet.

Zur Orientierung giebt nebenstehende Fig. 1 eine Abbildung einer besonderen Schimmelart, des allorts auffindbaren gemeinen Pinselschimmels (*Penicillium glaucum*); derselbe fruktifiziert so, dass die gegliederten Fruchthyphen sich baumförmig gabeln, auf ihren Spitzen kurze Stiele (Basidien) bilden, auf denen die runden, bei *Penicillium glaucum* im besondern grün gefärbten Sporen in Reihen aufsitzen.

Es muss hinzugefügt werden, dass die Schimmelpilze wie alle Mikroorganismen sehr klein sind; Fig. 1 ist eine mikroskopische Ansicht bei 500facher Vergrösserung.

b) Sprosspilze.

Die Sprosspilze (Cryptokokken), auch Hefenpilze genannt, kennzeichnen sich dadurch, dass sie sich durch Sprossung vermehren, also dadurch, dass sich an einer oder mehreren Stellen der

1) Zum Teil nach Blücher, Überblick über das Gebiet der Bakteriologie.

Zelle (Mutterzelle) die Membran, d. h. die Zellumgrenzung, erweitert und so eine neue Zelle entstehen lässt. Aus den so gebildeten „Tochterzellen“ sprossen dann wieder unter Erhaltung der Verbände neue Zellen hervor.

Untenstehende Fig. 2 zeigt ein mikroskopisches Bild von Hefepilzen bei ungefähr 300facher Vergrößerung.

Während die Schimmelpilze auf feuchten organischen Stoffen, wie Nahrungsmitteln, Unrat u. s. w. gedeihen, und so die unter der



Fig. 1.

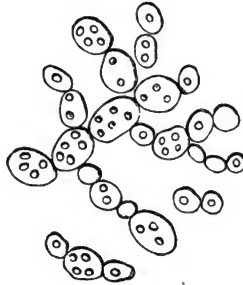


Fig. 2.

Entnommen aus Blücher, „Der praktische Mikroskopiker“. Leipzig 1896.

Bezeichnung „Schimmeln“ bekannte Erscheinung veranlassen, sind die Sprosspilze der Mehrzahl nach Gärungserreger, d. h. sie vermögen zuckerhaltiges Material in Alkohol und Kohlensäure zu zerlegen und haben aus diesem Grunde eine ausserordentlich hohe Bedeutung zu beanspruchen.

c) Spaltpilze.

Die Spaltpilze werden auch Schizomyceten und Bakterien genannt; letzterer Name ist der allgemeine übliche.

Die Bakterien sind sehr kleine einfache Zellen, die sich durch Querteilung vermehren: die Zelle streckt sich und zerfällt dann in zwei gleichgrosse, selbständige Individuen. Die Zeitdauer, während der eine solche Teilung vor sich geht, ist sehr verschieden; im Durchschnitt beträgt sie kaum eine Stunde. Da unter zusagenden Bedingungen jedes neu entstandene Bakterium wieder in der gleichen Zeit auswächst und sich weiter spaltet, so lässt sich berechnen, dass aus jedem Bakterienindividuum innerhalb 24 Stunden ungefähr 16 Millionen Individuen entstehen.

Die Spaltpilze kommen in ausserordentlich verschiedenen Wuchsformen vor. Zur Bezeichnung derselben kann man sich folgender, von H. Buchner vorgeschlagenen Nomenklatur bedienen.

Wuchsformen (Fig. 3).

Kugelform (a) — (nicht Coccus), Längsdurchmesser gleich oder nahezu gleich dem Querdurchmesser.

Ovalform (b), Längsdurchmesser höchstens das Zweifache des Querdurchmessers.

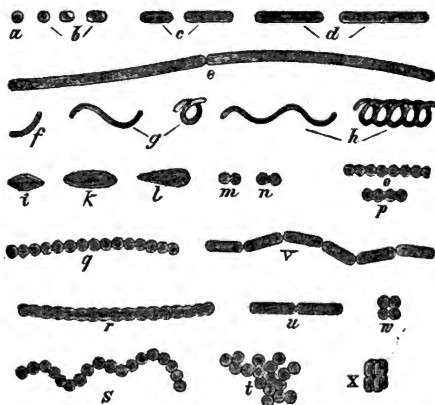


Fig. 3.

Kurzstäbchen (c), Längsdurchmesser = 2 bis 4 \times Querdurchmesser.

Langstäbchen (d), Längsdurchmesser = 4 bis 8 \times Querdurchmesser.

Fadenform (e).

Halbschraube = Komma (f), ein sehr kurzer Schraubenschnitt bis höchstens zu einem halben Schraubenumgang.

Schraube (g), ein voller Schraubenumgang.

Langschraube = Spiralform (h). Alle Schraubenformen können entweder mit steilen oder mit flachen Schraubengängen auftreten.

Spindelform (i).

Ovalstäbchen (k), unterscheidet sich von der Spindelform durch geringere Verjüngung der Enden, von der Ovalform durch die grössere Länge = 2 bis 4 \times Querdurchmesser.

Keulenform (l), nur ein Ende zugespitzt.

Wuchsverbände.

Doppelkugel (m), bei bloß angedeuteter Trennung: Semmel-
form (= Biskuitform) (n).

Kugeldreihe (o) bis zu 8 Kugeln; bei bloß angedeuteter Trennung:
Torulaform (p).

Kugelfaden (q) oder, wenn gekrümmt: Rosenkranzform (s);
bei bloß angedeuteter Trennung: toruloser Faden (r).

Traubenform (t). Tetradenform (w).

Doppelstäbchen (u). Würfelform (x).

Gliederfaden (v).

Für die Bezeichnung der Wuchsform gebraucht man also vorwiegend deutsche Nomenklatur, während die Bakterienart durch lateinische Namen (Mikrokokkus, Bakterium, Bacillus, Vibrio u. s. w.) bezeichnet wird.

Lange Zeit hindurch hat man geglaubt, dass die Bakterien aus unbelebten, organischen Massen entstünden, und ist in dieser Anschauung bestärkt worden durch die Ubiquität der Bakterien, d. h. durch ihr überall zu konstatierendes Vorhandensein. Heute weiss man, dass die Bakterien nur aus Keimen, und zwar aus Keimen derselben Art hervorgehen. Die Arten der Spaltpilze sind konstant; eine Umwandlung der einen Art in eine andere hat sich bisher niemals erweisen lassen. Dagegen muss betont werden, dass die Wuchsformen der Bakterien in gewissem Umfange wandelbar sind, d. h. eine Spaltpilzart kann in verschiedenen Wuchsformen auftreten, und für jede Spaltpilzart ist nur die Gesamtheit ihrer Wuchsformen charakteristisch.

Abgesehen von der Fortpflanzung durch Spaltung (Querteilung) besteht für die Bacillen noch ein zweiter Vermehrungsmodus, nämlich der durch die Bildung von Dauerformen, sogen. Sporen: Bei bestimmten Änderungen der die Bakterien umgebenden Medien, wie Veränderungen der Temperatur, Luft, Licht u. s. w. — Verhältnissen, die in Bezug auf Begünstigung und Behinderung der Sporenbildung noch sehr wenig erforscht sind — entsteht in dem betreffenden Bacillus ein stärker lichtbrechendes, rundes oder ovales Körnchen, das sich bei einigen Arten in der Mitte, bei andern an einem Pol des Bacillus befindet; dieses Körperchen (Spore) ist im Stadium seiner besten Entwicklung meistens von demselben Querdurchmesser

wie der Bacillus, bei einigen Arten ist der Durchmesser der Spore aber auch bedeutend grösser, sodass der betreffende Bacillus in der Mitte oder am Ende (je nach der Lage der Spore) eine Auftreibung erfährt. Die so gebildete Spore wird nach ihrer vollständigen Ausbildung, während der Bacillus zu Grunde geht, frei und ist dann unter geeigneten Verhältnissen befähigt, zu einem neuen Bacillus derselben Art auszukeimen. Die Sporen sind, wie schon ihre Bezeichnung als Dauerformen besagt, dauerhafter als die Bacillen, ja sie stellen wohl die widerstandsfähigsten aller Lebewesen überhaupt dar, da sie z. B. trockne Hitze bis zu 140° C. längere Zeit, ohne zu Grunde zu gehen, auszuhalten befähigt sind. Eine wirkliche Sporenbildung ist bisher nur für die Kurz- und Langstäbchen sowie Fadenformen und deren Wuchsverbände — mit einem Worte für die Bacillen sicher zu konstatieren gewesen; jedoch scheint auch ein grosser Teil der übrigen Wuchsformen sich auf irgend eine Art und Weise gegen stark wirkende Einflüsse sichern, d. h. ebenfalls irgend welche „Dauerformen“ bilden zu können.

Die genannten Mikroorganismen finden sich, so zu sagen, überall, wo Nahrung, d. h. organische Stoffe und in erster Linie eiweissartige Substanzen vorhanden sind. Manche wachsen nur unter Luftzutritt, andere wieder gedeihen merkwürdigerweise nur da, wo die Luft streng abgeschlossen ist. Die einen nähren sich nur von totem Material (Saprophyten), die andern brauchen zu ihrem Gedeihen den lebenden Körper (Parasiten) und sind als Erreger furchtbarer Krankheiten berüchtigt.

Eine unmittelbare Gefahr droht dem Menschen nur durch die Parasiten sowie durch solche saprophytische Arten, die gelegentlich auch parasitisch werden, also im lebenden Körper schmarotzen können. Von den eigentlichen Saprophyten hat der Mensch weit mehr Nutzen als Schaden:

Durch Bakterienwirkung reinigt sich die Erde von allem Unrat, von den ungeheueren organischen Massen, Kadavern, Abfallstoffen und dergl. Die Fäulnis und Verwesung, die Düngung oder vielmehr die Nutzbarmachung der Dungstoffe für die Pflanzen, die Gärung des Mostes und der Bierwürze, die Entstehung des Essigs und vieles andere mehr verdanken wir allein der, im einzelnen kleinen, in der Gesamtheit überwältigenden und alles regierenden Arbeit der mikroskopischen Pilze.

Wir schreiten nun zu der Frage, in welcher Weise Keime von Mikroorganismen in die atmosphärische Luft hineingelangen? In dieser Hinsicht hat sich ergeben, dass ein solcher Übergang nur

möglich ist von trocknen Oberflächen, auf denen sich Bakterien angesiedelt hatten. Ein Satz von weittragendster Wichtigkeit, den man sich genau einzuprägen hat, lautet:

Von feuchten Flächen oder von Flüssigkeiten gehen keine Bakterien in die Luft über.

Durch zahllose, aufs genaueste ausgeführte Untersuchungen ist die allgemeine Richtigkeit dieses Gesetzes erwiesen worden. Eine Ausnahme ist nur möglich, wenn Teile der bakterienhaltigen Flüssigkeit mechanisch verspritzt und dann mit dem Winde fortgeführt werden. Ein solches mechanisches Verspritzen ist möglich durch Wellen, durch die Bewegung von Mühlrädern, bei der Behandlung der Wäsche u. s. w.; immerhin werden in allen solchen Fällen die Wassertröpfchen und die Mikroorganismen darin nur auf kurze Strecken mitgerissen, um dann wieder zu Boden zu fallen. Im übrigen sind selbst starke Luftströmungen nicht imstande, von ruhenden Wasserflächen Mikroorganismen und deren Keime fortzureissen, ja dies gilt ebenso für mikroorganismenhaltige Staubmassen, solange ihnen noch etwas Feuchtigkeit innewohnt.

Aber auch nachdem eine Bakterienansammlung vollkommen eingetrocknet ist, hindern noch mancherlei Umstände den Übergang einer grösseren Anzahl von Keimen in die Luft. Die Bakterien haften nämlich recht fest an ihrer Unterlage, zumal wenn diese — wie zumeist — eiweisshaltiger oder schleimiger Natur ist und dann nach dem Eintrocknen den Mikroorganismen gegenüber eine bedeutende Adhäsionskraft entwickelt. In solchem Falle können auch nach völligem Austrocknen selbst sehr starke Luftströmungen keine Keime (oder nur verschwindend wenige) mit sich fortreissen. Flügge (l. c.) schreibt über diesen Punkt: „Es müssen zunächst durch stärkere Temperaturdifferenzen oder durch mechanische Gewalt Kontinuitätstrennungen und teilweise Ablösungen erfolgen; die Kruste zersplittert, und erst dann sind Luftströmungen imstande, kleine Teilchen aufzunehmen und zu transportieren. Bildet feiner Sand oder Lehm die Unterlage der Bakterienansiedlung, oder haften sie z. B. an porösen, leicht fasernden Kleidungsstoffen (Sputum, Dejektionen u. s. w. an Wäsche), so geschieht die hauptsächlichste Verbreitung nicht sowohl infolge einer Ablösung der Bakterien, sondern dadurch, dass Teile des Substrates selbst in die Luft übergehen. An den mineralischen Staubpartikelchen, namentlich aber an den gröbereren und feineren Fasern, welche sich von den Kleiderstoffen loslösen, haften daher die hauptsächlichsten Mengen der in der Luft befindlichen Mikroorganismen.

Von festen, nicht verstäubbaren Flächen werden allerdings die isolierten Splitter der getrockneten Bakterienansiedlung in die Luft übergeführt. Dabei kommt es im ganzen aber selten vor, dass die Zersplitterung soweit geht, dass wirklich einzelne, isolierte Bakterien in die Luft gelangen, sondern meist werden ganze Verbände, sobald sie nur soweit zerkleinert sind, dass ihre Schwere gering genug ist, der Luft beigemischt.

Alles gesagte gilt übrigens nur für die Bakterien und für die Sprosspilze; bei den Schimmelpilzen bildet die Feuchtigkeit der Unterlage kein Hindernis für das Übergehen in die Luft. Es wurde ja schon auf Seite 28 ausgeführt, dass das Mycel der Schimmelpilze aus dem feuchten Nährsubstrat heraus in die Luft wächst und dort auch Sporen bildet. Diese sitzen im Stadium der Reife sehr locker und sind ausserordentlich leicht, weshalb sie schon durch die schwächsten Luftströme emporgewirbelt werden.

Aus diesen Erläuterungen geht hervor, dass wohl die Schimmelpilzsporen zu den feinen Sonnenstäubchen gehören, keineswegs aber die Bakterienkeime, bei denen meist ganze Verbände vereinigt sind. Der Bakterienstaub ist relativ grob und schwer; er setzt sich im Gegensatz zu den Schimmelpilzsporen leicht ab und bedarf schon erheblicher Luftströmungen, um längere Zeit in der Atmosphäre schwebend erhalten und auf weitere Entfernungen fortgeführt zu werden.

Ist es hiernach schon erklärlich, dass Schimmelpilzsporen in der Luft verhältnismässig weit zahlreicher sind als Bakterienkeime, so verschiebt sich dieses Verhältnis nach derselben Richtung noch weit mehr, wenn man nur die Zahl der lebenden, d. h. der noch entwicklungsfähigen Keime in Betracht zieht. Es ist ohne weiteres verständlich, dass die Mikroorganismenkeime der Atmosphäre nur dann eine gesonderte Stellung vor den übrigen, unorganisierten Bestandteilen des Luftstaubes zu beanspruchen haben, wenn sie noch „Lebewesen“ sind und die Wirkungen solcher zu äussern vermögen.

Viele Bakterienarten vertragen aber ein so vollständiges Austrocknen, wie es für die Überführung in die Luft nötig ist, nicht. Manche Arten sterben schon im Augenblick des Trockenwerdens ab; eine grössere Anzahl vermag in diesem Zustande nur wenige Stunden oder Tage entwicklungsfähig zu bleiben. Noch bedeutender ist die Menge derjenigen Bakterienarten, die durch die Austrocknung sehr geschwächt werden, deren Entwicklung und Vermehrung ausserordentlich verlangsamt wird und deren physiologische Eigenschaften einschneidende Änderungen erleiden. — Alles dies sind Momente, die für die Schimmelpilzsporen nicht gelten, denn diese vertragen

eine sehr lange dauernde Zeit vollständiger Austrocknung, ohne auch nur im entferntesten in ihren vitalen Eigenschaften beeinflusst zu werden.

Die Zahl der in der freien Atmosphäre gefundenen entwicklungsfähigen Keime schwankt ausserordentlich. Unter Umständen wurde pro 1 cbm Luft gar kein Keim aufgefunden, in andern Fällen bewegten sich die Zahlen zwischen 50 und mehr als 1000.

Schwankungen in der Bakterienzahl nach Ort und Zeit sind von mannigfachen Ursachen abhängig. Da kommt erstens der Bakterienreichtum des betreffenden Ortes an sich, zweitens der Feuchtigkeitsgehalt der Luft und An- oder Abwesenheit trocknender Winde und drittens endlich die Stärke der Luftströmungen und das Wetter überhaupt in Betracht.

Die Bedeutung der drei aufgezählten Faktoren liegt auf der Hand: In erster Linie ist es klar, dass die Luft eines Ortes um so reicher an Mikroorganismen werden kann, je mehr und je ausgedehntere Ansiedlungen von solchen in der Nähe (auf dem Erdboden, auf dort lagernden Gegenständen u. s. w.) vorhanden sind. Zweitens sind Momente nötig, die die Austrocknung der Bakterien ermöglichen, also grosses Sättigungsdefizit der Luft und trocknende Winde. Das Wetter endlich giebt den Ausschlag, ob die getrockneten Mikroorganismen wirklich in die Atmosphäre hinein mitgerissen werden und wie lange sie darin verbleiben. Starke Winde werden die losgelösten Keime weithin verbreiten; Niederschläge werden sie grösstenteils zu Boden reissen; Windstille wird baldiges Niedersinken und Absetzen der gröberen Partikelchen herbeiführen.

Hiernach ist zu schliessen (cfr. Flügg e): Die geringste Keimzahl wird in Einöden, auf unbewohnten Bergen und im Winter zu finden sein, weil es hier an stärkerer Ausbildung der Bakterienansiedlungen fehlt. Ferner beobachtet man wenig Keime bei feuchtem Wetter und feuchter Bodenoberfläche (nach Regen, im Frühjahr), weil dann keine Ablösung vorhandener Bakterien stattfinden kann. Nur Schimmelpilzsporen sind auch bei feuchtem Wetter reichlicher in der Luft enthalten, weil die Pilzrasen dann am besten gedeihen und weil deren Sporen auch von feuchtem Substrat aus in die Luft gelangen. — Auf hohem Meere ist die Luft keimfrei gefunden¹⁾; doch beginnt diese Keimfreiheit je nach Stärke und Richtung des Windes oft erst in 500 bis 1000 km vom Lande.

1) Jahresbericht des Observatoriums in Montsouris 1886. Miquel, Die Mikroorganismen der Luft (deutsch von E. Emmerich).

Am reichsten an Keimen ist die Luft, wenn hohe Temperatur, hohe Trockenheit (starkes Sättigungsdefizit) und heftige Winde gleichzeitig vorhanden sind: „Bei vorübergehender Bodentrockenheit können sich in den breiten städtischen Strassen zwar auch schon grössere Staubmassen bilden; aber erst eine Periode anhaltender Dürre und trockner Winde führt aus allen Winkeln und Höfen und von den Stätten, wo Abfallstoffe abgelagert werden, mannigfaltige und zahlreiche Bakterien in die Luft über. Allerdings können bei heftigen Winden die zahlreich aufgenommenen Keime sofort auf einen so grossen Raum verteilt werden, dass der Keimgehalt der Luft nicht entsprechend steigt.“ Übrigens ist zu bemerken, dass die von der Luft aufgenommenen Keime auch bei gänzlicher Windstille sehr schnell und in erheblichem Grade verdünnt werden. Die Ursache liegt darin, dass auch in dem Zustande, den wir als „Windstille“ bezeichnen, Luftströmungen — und zwar sowohl auf- und absteigende, wie horizontal gerichtete¹⁾ — herrschen und die Keime bald über einen grossen Raum hinwegwirbeln. Hieraus ergibt sich, dass seltene Arten, die nur ausnahmsweise und in verhältnismässig kleiner Zahl in die Luft gelangen, sehr bald daraus verschwinden müssen und jedenfalls bei Untersuchungen kaum aufgefunden werden können. Zahllose Untersuchungen haben erwiesen, dass die Saprophyten, d. h. diejenigen Bakterienarten, welche auf totem Material gedeihen, ausserordentlich viel zahlreicher sind als die Parasiten, d. h. die pathogenen Bakterien, die an und in dem lebenden Körper schmarotzen und schwere Krankheiten verursachen. Rechnet man hierzu noch, dass gerade die pathogenen Arten sehr wählerisch sind, dass gerade von ihnen viele durch die Austrocknung absterben oder bei längerem Aufenthalt in der Luft ihre Entwicklungsfähigkeit, ihre gefährliche Wirkung (Virulenz) einbüßen, dann dürfte es jedem verständlich sein, dass nur ein seltener Zufall zur Auffindung pathogener Bakterien in der Luft führen kann, und dass im allgemeinen die Keime der Luft nur harmloser²⁾ saprophytischer Natur sind.

Alles dies gilt aber nur und ausschliesslich für die Luft im Freien. In geschlossenen Räumen werden einmal vorhandene pathogene Keime leicht mit dem sonstigen Staub aufgewühlt und emporgewirbelt werden können; sie sind häufig genug darin nach-

1) Horizontale Luftströmungen, deren Geschwindigkeit nicht mehr als $\frac{1}{2}$ —1 m pro Sekunde beträgt, werden wir im allgemeinen nicht gewahr; solche Strömungen fallen demnach nach gewöhnlichem Sprachgebrauch unter den Begriff der Windstille.

2) „Harmlos“ ist hier gegenüber dem menschlichen Körper gebraucht. Oft genug hingegen können die Luftkeime im übrigen Unheil anrichten, Nahrungsmittel zum Säuern, Gären, Faulen bringen, u. s. w.

gewiesen worden und haben zweifellos oft genug Krankheit und Tod veranlasst. Man hat festzuhalten, dass in geschlossenen Räumen bei ruhiger Luft oder bei feuchten Wandungen sehr wenig oder gar keine Luftkeime umherfliegen, viele dagegen, wenn sichtbarer Staub aufgewirbelt ist. Staubige Luft ist in geschlossenen Räumen weit bedenklicher und gesundheitsschädlicher als übelriechende Luft.

Wir fassen nach Wollny¹⁾ folgende Sätze über den Gehalt der Luft an Mikroorganismen zusammen:

1. Die in der Luft vorkommenden Organismen bestehen, abgesehen von Nebenumständen, vornehmlich aus Spalt- und Schimmelpilzen, wobei die ersteren überwiegen.
2. Die Landluft ist bedeutend ärmer an Mikroorganismen als die Luft in den Städten.
3. Der Reichtum der atmosphärischen Luft an Mikroorganismen unterliegt im Mittel gesetzmässigen Schwankungen, die zunächst in der Weise in Erscheinung treten, dass der Gehalt der Atmosphäre an Spalt- und Schimmelpilzen während der wärmeren Jahreszeit beträchtlich grösser ist als während der kälteren.
4. Die Zahl der Bakterien in der Luft, die in Niederschlagsperioden klein ist, erhöht sich beträchtlich, wenn während der Trockenperiode alle Feuchtigkeit von der Oberfläche des Bodens verschwunden ist.
5. Die Schimmelpilze verhalten sich entgegengesetzt, wie für die Bakterien unter 4. ausgesprochen ist.

Auf die hochwichtige Frage der Verbreitung von Krankheitskeimen durch die Luft haben wir in einem späteren Abschnitt „Hygiene der Luft“ zurückzukommen.

1) Wollny, Die Zersetzung der organischen Stoffe. Heidelberg 1897.

Physik der Luft.

Die Erde ist nicht blos stellenweise, sondern auf allen Seiten von Luft umgeben. Das Luftmeer, die Atmosphäre, bildet nach aussen hin eine Kugelhülle; man müsste sich demnach die Begrenzungsflächen der Atmosphäre nach aussen hin als parallel zu der Erdoberfläche laufend denken. Die obere Grenze der Atmosphäre ist uns nicht genau bekannt; wir sind in dieser Hinsicht auf Schätzungen angewiesen, derer wir noch weiter unten zu gedenken haben.

Die richtige Anschauung über das Wesen der Atmosphäre konnte sich erst Bahn brechen, nachdem die irrthümliche Meinung gewichen war, dass die Luft ein eigenartiges Element ohne Schwere sei und dass sie dementsprechend „nach oben“ strebe. Längst hat man nun den Irrtum jener Auffassung erkannt, längst weiss man, dass die Luft hinsichtlich der Fundamenteigenschaft aller irdischen Körper, der Schwere, keinen Ausnahmeplatz zu beanspruchen hat.

Wie alle Gegenstände, so ist auch die Luft durch die Anziehung der Erde oder, wie wir gewöhnlich sagen, durch ihre Schwere an die Erde gebunden. Alle gasförmigen Körper, also auch die Luft, haben das Bestreben sich immer mehr auszudehnen — der Physiker sagt „die Moleküle der Gasarten besitzen keine Kohäsion“. Aber dieses Bestreben sich auszudehnen, das man als Spannkraft oder Elastizität der Gase bezeichnet, wird eingeschränkt und in enge Grenzen gebannt durch die Anziehungskraft des Erdkörpers.

Das hindert nicht, dass sich Teile der Atmosphäre zusammenziehen oder ausdehnen können, wenn ihre Spannung durch Kälte vermindert, oder anderseits durch Wärme vermehrt wird; das Luftmeer kann sich auch, gleich dem Wasser des Ozeans, stellenweise oder in grösseren Massen verschieben und gewaltige Strömungen bilden — aber niemals kann die Atmosphäre von der Erde entweichen. Mit dieser gleichzeitig dreht sie sich um die Erdachse, mit dieser in jährlicher Bewegung um die Sonne, mit dem ganzen Planetensystem

endlich in unermesslichen Zeiträumen um andere, uns noch unbekanntere Centalkörper.

Man begegnet nicht selten der Vorstellung, dass die Erde gleichsam in dem Luftmeer schwimmend zu denken sei; aber diese Anschauung ist grundfalsch, denn nicht die Erde wird von der Lufthülle, sondern diese von der Erde gehalten. Irrtümliche Vorstellungen erweckt auch der häufig gebrauchte Vergleich der Erde mit dem Eidotter, das von dem Eiweiss — der Lufthülle — umgeben ist. Dieser Vergleich hinkt schon um deshalb, weil die Lufthülle im Verhältnis zur Erdmasse eine ausserordentlich dünne Schicht bildet.

Es ist allgemein bekannt, dass die Erde in Wirklichkeit keine Kugel ist, sondern eine Gestalt hat, deren Form durch den Einfluss der Rotation entstanden ist, als die Erde noch halbflüssig war. Da bei der Rotation die Centrifugalkraft an den Punkten des Äquators am grössten sein muss und nach den Polen mehr und mehr abnimmt, so mussten diese dem Erdmittelpunkte näher bleiben — es resultierte eine Abplattung der Pole oder, korrekter gesagt, eine Ausbauchung am Äquator. Die so entstandene Gestalt der Erde¹⁾ wurde bis vor kurzer Zeit als Rotationsellipsoid oder Sphäroid bezeichnet; neuerdings hat man gefunden, dass die wirkliche Gestalt der Erde von dem geometrischen Begriff des Rotationssphäroids Abweichungen zeigt, und man bezeichnet seitdem die Form der Erde als Geoid.

Von vornherein ergibt sich nun die Vorstellung, dass die Atmosphäre ebenfalls die Form eines Geoids haben muss, weil sie einerseits mit der Erde zugleich rotiert und ausserdem dem Einflusse der Anziehungskraft seitens der Erde unterworfen ist. Die Anziehungskraft ihrerseits ist aber grösser an den Polen²⁾ und nimmt nach dem Äquator zu ab — in gleichem Masse, wie die Entfernung zwischen dem Erdmittelpunkte und den bezüglichen Teilen der Erdoberfläche wächst; die Luft über den Polen wird demnach näher an diese herangezogen³⁾, als die Luft über dem Äquator an diesen. Hieraus ergibt sich, dass die Abplattung der Lufthülle an den Polen noch verhältnismässig grösser sein muss, als diejenige der Erde. Eine noch weitergehende Abweichung in demselben Sinne wird dadurch bewirkt,

1) Der Durchmesser der Erde, von Pol zu Pol gemessen, ist ungefähr um 75 km kürzer, als der Erddurchmesser am Äquator.

2) Die stärkere Anziehungskraft an den Polen bringt es mit sich, dass jede Last, absolut genommen, nach den Polen hin schwerer wird — vorausgesetzt, dass sie mit einer gleichbleibenden Kraft (Muskelkraft, Federkraft) verglichen wird. Trotzdem wird das Gewicht (auf der Wage) nicht geändert, da das Vergleichsgewicht ja der Schwerkraft desselben Punktes unterworfen ist.

3) Es ist selbstverständlich dabei immer die äussere Begrenzung der Lufthülle gemeint.

dass die Luft — die ja noch jetzt bei der Rotation der Erde jederzeit der Wirkung der Centrifugalkraft ausgesetzt ist — eine weit geringere Dichte besitzt, als die Erdmasse zu jener Zeit gehabt hat, da sie halbflüssig war. Schliesslich kommt hinzu, dass die stärkere Erhitzung der Luft in der heissen Zone eine grössere Spannung und dadurch ein höheres Aufsteigen hervorbringt, als nach den Polen hin. So ergibt sich, dass die Abweichung des Luftkreises von der Kugelgestalt eine etwas grössere sein muss, wie die der Erdmasse; das Rotationsellipsoid der Atmosphäre zeigt eine stärkere Polabplattung, als das Geöid der Erde. Die Abweichungen sind von weittragendem Einfluss auf verschiedene physikalische Faktoren der Atmosphäre.

Lange Zeit hindurch hat man die Luft für ein permanentes Gas (vgl. S. 8) gehalten, d. h. für ein solches, das unter keinen Umständen zu einer Flüssigkeit verdichtet werden könnte. In neuerer Zeit haben weitgehende Versuche ergeben, dass der Begriff der permanenten Gase sich nicht rechtfertigen lässt, dass vielmehr ein jedes Gas unterhalb einer bestimmten Temperatur (kritischen Temperatur) durch einen gewissen Druck verflüssigt werden kann. Auch die Luft ist verflüssigt worden; nähere Angaben darüber wird das besondere Kapitel „Flüssige Luft“ in dem letzten Abschnitt „Technische Ausnutzung der Luft“ enthalten.

In dem vorliegenden Abschnitt „Physik der Luft“ werden der Luftdruck, die Luftwärme, die Luftfeuchtigkeit, die Bewölkung, die atmosphärischen Niederschläge, die Luftströmungen, die atmosphärische Elektrizität, die Schall-, Licht- und Wärmeleitung der Luft und das Wetter zu erörtern sein.

1. Luftdruck.

Es wurde schon erwähnt, dass man Jahrhunderte hindurch die Luft für ein besonderes, merkwürdiges Element hielt, dessen absonderlichste Eigenschaft darin bestehen sollte, dass ihr die Schwere fehle. Der Irrtum, der in dieser Anschauung lag, wurde im Jahre 1643 als solcher erkannt, und zwar war es die Erfindung des Barometers, die den Beweis mit sich brachte, dass die Luft „schwer“ ist.

Man hatte beobachtet, dass Wasser sich durch Saugpumpen nicht höher als 32 Fuss (10,33 m) heben lässt; über dieser Höhe

blieb bis zum Pumpenkolben ein luftverdünnter Raum, der sich nicht mit Wasser füllte.

Torricelli, Galilei's Schüler, mutmasste, dass die mittelst der Saugpumpe erreichte Höhe von 32 Fuss in einem gewissen Verhältnis zu der Dichte der emporgesaugten Flüssigkeit, d. h. also zum spezifischen Gewicht des Wassers, stehen müsse. Er hielt es für interessant zu untersuchen, ob nicht eine andere, schwerere Flüssigkeit eine ähnliche Erscheinung mit geringerer Steighöhe zeigen werde.

Dieser Schluss erwies sich als richtig: Torricelli füllte eine 1 m lange, an einem Ende zugeschmolzene Glasröhre ganz mit Quecksilber, verschloss das offene Ende mit einem Finger, kehrte die Röhre um und tauchte die Öffnung in ein Gefäss mit Quecksilber. Als er den Finger wegzog, sank das Quecksilber und blieb in einer Höhe von 28 Pariser Zoll oder 760 mm über dem Quecksilberspiegel des unteren Gefässes stehen; über dem Quecksilber war in der Röhre ein luftleerer Raum.

Da das Quecksilber 13,6mal schwerer als Wasser ist, so wiegt eine in einem Pumpenrohr möglichst (also 32 Fuss) hoch emporgestiegene Wassersäule ebensoviel, wie eine Quecksilbersäule, die bei genau dem gleichen Querschnitt $\frac{32}{13,6}$ Fuss = 28 Zoll lang ist.

Die Flüssigkeiten steigen in einer oben verschlossenen Röhre also nur so hoch, dass sie einen bestimmten Druck nach unten ausüben. Deshalb schloss Torricelli, dass die Ursache des Aufsteigens in dem Luftdruck liegen müsse, und dass dieser Flüssigkeiten in einer oben verschlossenen luftleeren Röhre soweit in die Höhe treibt, bis das Gewicht der emporgedrückten Flüssigkeitssäule gleich ist dem Gewicht einer Luftsäule von dem gleichen Querschnitt wie die Röhre und von der Höhe der gesamten Atmosphäre¹⁾. Der Druck der Atmosphäre ist also so gross, wie das Gewicht einer 760 mm hohen Quecksilbersäule.

Das von Torricelli erfundene Instrument, das also in seiner einfachsten Form aus einem Gefäss mit Quecksilber und einer in dieses eintauchenden, oben geschlossenen, mit Quecksilber gefüllten Glasröhre von ca. 1 m Länge besteht, wurde später von Boyle mit dem Namen *Barometer* belegt. Man beobachtete nämlich, dass die Höhe des Quecksilbers in der Röhre nicht immer 760 mm betrug, sondern fortwährenden Schwankungen unterworfen war, die mit Ab- und Zunahme des Atmosphärendruckes einhergingen. Es ist also

1) Wir werden bald sehen, dass diese Folgerung in gewissem Sinne ein Trugschluss ist.

für dieses Instrument die Bezeichnung Barometer, d. h. „Schwermesser“ (der Atmosphäre) gerechtfertigt. Später bestätigte Pascal (1648) die Richtigkeit von Torricelli's Schlüssen. Denn er wies nach, dass das Quecksilber im Barometer um so mehr sinkt, je höher man mit demselben auf einen Berg hinaufsteigt.

Als normalen mittleren Barometerstand bei 0° C. ¹⁾ und in der Höhe des Meeres nimmt man 760 mm an; der Druck einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe, also der Normalluftdruck wird kurzweg 1 Atmosphäre genannt. Der Druck einer Atmosphäre beträgt auf jedes Quadratcentimeter etwas mehr als 1 kg, genau 1033,3 g.

Direkt bewiesen worden ist die Schwere der Luft dadurch, dass man eine gewisse Luftmenge gewogen hat. Man macht zu diesem Zweck eine ziemlich grosse, mit einem Verschlusshahn versehene Glaskugel durch eine Luftpumpe luftleer, schliesst den Hahn an der Glaskugel und bestimmt ihr Gewicht auf der Wage; darauf öffnet man den Hahn, man hört Luft in die Glaskugel einströmen, wägt sie samt der eingeströmten Luft und findet, dass die Kugel jetzt mehr wiegt. Fasst die Glaskugel 10 l, so wiegt sie mit Luft gefüllt 12,93 g mehr als im ausgepumpten, luftleeren Zustande. 1 l trockne Luft wiegt unter dem 45. Breitengrade bei mittlerem Barometerstande und bei 0° C. 1,29306 g. Das Volum von 1 g Luft beträgt somit 773 ccm. Das spezifische Gewicht der atmosphärischen Luft (auf Wasser = 1 bezogen) ist dementsprechend $\frac{1}{773}$. Gegenüber Wasserstoff = 1 ist das spezifische Gewicht der Luft 14,388.

Von jeher hat man sich die Frage vorgelegt, bis zu welcher Höhe die Atmosphäre hinaufreicht — wie dick die Lufthülle unseres Planeten ist? Wie weit ist es von der Spiegelfläche des Meeres, auf der die untersten Luftschichten ruhen, bis zu ihren äussersten Grenzen im weiten Weltenraum?

Diese Frage erscheint auf den ersten Blick ausserordentlich leicht zu beantworten: Der Luftdruck vermag am Meerespiegel einer Wassersäule von 10,33 m das Gleichgewicht zu halten; ausserdem ist die Luft in der Höhe des Meeres 773mal leichter als Wasser. Um 10,73 m Wassersäule im Gleichgewicht zu halten, ist also eine Luftsäule von

1) Da sich die Körper durch die Wärme ausdehnen, so steht bei höherer Temperatur das Quecksilber in der Barometerröhre auch dann höher, wenn der Luftdruck sich nicht ändert; mit wachsender Temperatur wird also ein immer höherer Atmosphärendruck vorgetäuscht. Deshalb gelten die Barometerangaben nur für eine bestimmte Temperatur und müssen stets auf diese korrigiert werden. Die erforderlichen Berechnungen enthält der Abschnitt „Physikalische Untersuchung der Luft“.

$$10,33 \times 773 \text{ m} = 7985,09 \text{ m}$$

erforderlich. Die Höhe der Atmosphäre wäre nach dieser Rechnung auf etwas über 1 Meile festgelegt.

Voraussetzung für die Richtigkeit dieser Rechnung ist, dass die Luft überall dieselbe Dichtigkeit besitzt, d. h. dass sie gleich schwer in der Höhe und in der Tiefe ist. Eine solche Voraussetzung wäre jedoch gänzlich verfehlt. Denn die Luft ist eben ein gasförmiger Körper und zeigt als solcher eine weitgehende Elastizität. Es gelten für die Gase im allgemeinen (also auch für die Luft) folgende Gesetze:

1. Jeder auf eine Luftmasse ausgeübte Druck verbreitet sich in derselben gleichmässig nach allen Richtungen.
2. In jeder Luftmasse ist ein nach oben gerichteter Druck vorhanden, der der Auftrieb heisst.
3. Die Spannkraft der Luft wächst in demselben Masse, wie ihre Dichtigkeit.
4. Die Dichtigkeit der Luft wächst im umgekehrten Verhältnis zu dem Raum, den sie einnimmt.
5. Die Dichtigkeit der Luft steigt und fällt in demselben Verhältnis, wie der auf ihr lastende Druck.

Hieraus lässt sich folgern: Die Anziehungskraft der Erde zieht die Atmosphäre zu sich heran; dabei drückt eine jede höhere Luftschicht auf alle tiefer liegenden, presst diese demnach auf einen kleineren Raum zusammen und erhöht so ihre Dichte — ihr Gewicht. Die Luft wird daher immer leichter und dünner, je weiter sie sich von der Erde entfernt. Aber auch diese Abnahme der Dichte mit steigender Höhe geht nicht gleichmässig vor sich. Denn die ausdehnende Kraft der Wärme wirkt am intensivsten auf die untersten Luftschichten, und weiter sind die Wasserdampfmengen in der Atmosphäre so wechselnd (und doch so einflussreich auf die Zu- und Abnahme der Luftdichte), dass sie jede, auch nur einigermaßen sichere Berechnung und Feststellung unmöglich machen.

Kepler berechnete die Höhe der Atmosphäre auf etwa 10 geographische Meilen, und Arago bestimmte die grösste Höhe, wo die Luft noch dicht genug ist, um das Licht der Dämmerung zurückzuwerfen, zu $7\frac{9}{10}$ Meilen, doch über dieser Grenze kann es noch sehr ausbreitete dünnere Luftschichten geben.

„Durch¹⁾ thermodynamische Überlegungen, auf welche tiefer nur mit Aufgebot mathematischer Unterstützung eingegangen werden könnte, hat A. Ritter zuerst gefunden, dass, wenn unsere Atmosphäre aus reinem Wasserdampf bestünde, ihre Höhe etwa 350 km

1) Aus Günther, Die Meteorologie. München 1889.

betragen würde, und zweitens glaubte er annehmen zu dürfen, dass auch das Gemisch von Gasen und Dämpfen, als welches wir die Atmosphäre thatsächlich ansehen müssen, sich in allen wesentlichen Punkten, also auch hinsichtlich seiner Ausdehnung, ebenso verhalten würde, wie eine homogene Lufthülle der ersten Art. Dafür nun, dass Ritters Schätzung so ziemlich das richtige trifft, sprechen auch andere gute Gründe. Flögel hat die Parallaxen einer Reihe von Nordlichtkronen gemessen und hieraus berechnet, dass die Polarlichter, die doch ganz gewiss nicht in einem völlig leeren Raume zustande kommen, sondern eines körperlichen Substrates für ihre glänzende Erscheinung bedürfen, in einem von der Erde mindestens um 300 km entfernten Teile des Luftkreises entstehen, und zu ähnlichen, aber noch grösseren Zahlen haben andere Untersuchungen von verwandter Tendenz geführt. Endlich mass Schiaparelli die Höhen, in welchen die aus dem Weltraume kommenden und beim Eindringen in die dichteren Regionen der Atmosphäre allmählich bis zur Glühhitze sich erwärmenden Meteorkörperchen aufzuleuchten beginnen. Diese Höhen betragen durchschnittlich mehr als 200 km, und da wir uns doch sagen müssen, dass die Meteorite schon einen ziemlich grossen Luftweg durchmessen haben werden, ehe die vermehrte Reibung ihre Erhitzung bis zum Selbstleuchten steigert, so können wir als das Fazit der von Ritter, Flögel und Schiaparelli ausgeführten Arbeiten wohl ohne Besorgnis den folgenden Satz aufstellen:

Die Höhe, oder richtiger gesagt, die Dicke unserer Erdatmosphäre kann annähernd auf 300 bis 400 km veranschlagt werden.“

Dem Menschen ist es versagt, die oberen Schichten der Atmosphäre zu erreichen; die höchsten, sicher konstatierten Schichten, bis zu denen Menschen im Luftballon emporgestiegen sind, dürften 10 km kaum übersteigen. Aber auch schon in jenen Höhen, und noch weit darunter, vermag sich der menschliche Organismus nicht wohl zu fühlen; der schwache Luftdruck kann dem Blutdruck im Innern der Gefässe nicht mehr das Gleichgewicht halten — Blut dringt aus Mund, Nase und Ohren; lebensgefährliche Ohnmachten stellen sich ein; der Mensch droht zu ersticken.

Durch langsame Gewöhnung freilich bringen es Menschen dahin, auch unter sehr niedrigem Luftdruck, auf hohen Bergen u. s. w. leben zu können. Abgesehen hiervon aber pflegt dem Besteigen sehr hoher Berge bald die sogenannte Bergkrankheit zu folgen, wobei zwar auch die grosse körperliche Anstrengung, die Einwirkung der Kälte und die intensive Sonnenstrahlung mitwirkt, die

aber doch der Hauptsache nach auf den niedrigen Luftdruck oder vielmehr auf den Mangel an Sauerstoff zurückzuführen ist.

Es hat sich nämlich gezeigt, dass es weit weniger die absolute Druckverminderung ist, die dem Menschen verderblich wird, als vielmehr das Minus an Sauerstoff, das mit der Abnahme des Druckes weniger zur Einatmung gelangt: In 2000—2500 m Höhe ist die im gleichen Luftraum enthaltene Sauerstoffmenge schon um mehr als $\frac{1}{4}$ verringert; in 5000 m Höhe ist sie fast auf die Hälfte reduziert, sodass das gleiche Sauerstoffquantum unter gewöhnlichem Luftdruck bei einem Gehalt der Luft von nur 11 % Sauerstoff aufgenommen werden würde; man kann demnach summarisch sagen: die Luft in 5000 m Höhe enthält nur noch 11 % Sauerstoff.

Weitere Erörterungen über diesen Punkt wird das Kapitel „Hygiene der Luft“ bringen; hier sei nur noch der Wirkung des Luftdruckes gegenüber dem Organismus überhaupt gedacht:

Der Druck der Atmosphäre ist ein gewaltiger; wir haben gehört, dass er am Meeresspiegel 760 mm Quecksilber oder — anders ausgedrückt — auf jedes Quadratcentimeter 1,03 kg beträgt. Diesen Druck haben alle in der Luft befindlichen Körper, nicht etwa bloss die ebenen Flächen zu tragen. Die Luft drückt eben infolge ihrer Spannung nach allen Seiten, wie dies schon Gesetz 1 auf Seite 43 ausspricht. Dieser Umstand aber ist es gerade, der den gewaltigen Luftdruck allein erträglich macht, während dieser Druck alles zermalnen würde, wenn er einseitig wäre. Letztgenannter Fall ist aber ein seltener; nur hohle, luftleer gemachte Körper mit schwachen Wänden leiden unter dem Luftdruck und können dadurch sogar zertrümmert werden.

Der menschliche Körper hat eine Oberfläche von fast 1,5 qm; auf dieser Oberfläche lastet demnach die Atmosphäre mit einem Druck von fast 15 500 kg — vorausgesetzt, dass sich der Mensch in der Höhe des Meeresspiegels befindet. Diesen enormen Druck würde der Organismus keinesfalls ertragen können, wenn nicht in den meisten Innenteilen des Körpers Luft von derselben Spannkraft enthalten wäre, deren Druck dem Aussendruck das Gleichgewicht hält; die Gelenke der Oberarmknochen und der Oberschenkelknochen aber, die in luftleere Höhlungen eingefügt sind, werden durch den Atmosphärendruck gegen die Höhlungen gepresst und von ihm getragen. —

Von dem atmosphärischen Druck hängen soviel Naturerscheinungen ab, die ihrerseits fast ebenso viele Existenzbedingungen unseres eigenen Seins umfassen, dass es bei weitem nicht möglich sein würde, alle Phänomene aufzuzählen, die dem Luftdruck ihre Entstehung verdanken. Einen grossen Teil derselben werden wir ja in späteren Kapiteln zu berühren haben; hier sei nur auf einiges

aufmerksam gemacht, das trotz seiner Wichtigkeit gar nicht selten übersehen wird:

Das Atmen, ebenso wie das Trinken und Saugen sind Vorgänge, die nur möglich sind durch das Vorhandensein des Atmosphärendruckes ¹⁾: Beim Einatmen erweitern wir die Brusthöhle — die Luft in dieser wird verdünnt. Mit der Verdünnung geht eine Abnahme der Spannkraft einher, und diese macht es möglich — oder vielmehr sie bedingt es geradezu — dass von aussen frische Luft in die Brusthöhle gedrängt wird. Umgekehrt verengen wir die Brusthöhle beim Ausatmen: wir pressen die darin enthaltene Luft zusammen — die vermehrte Spannkraft lässt einen Teil der Luft ausströmen.

Beim Trinken saugen wir etwas Luft aus dem Munde nach innen; die Luft in der Mundhöhle wird verdünnt, und der Druck der Atmosphäre treibt die Flüssigkeit in den Mund. Voraussetzung ist dabei, dass die Atmosphäre zur Flüssigkeit freien Zutritt hat; jeder weiss, dass es ein vergebliches Bemühen ist, aus einer Flasche trinken zu wollen, wenn man den Flaschenhals vollständig in den Mund nimmt.

Beim Saugen ist der Vorgang ebenso wie beim Trinken; wir verdünnen die Luft in einem Raume, und eine Flüssigkeit wird durch den Atmosphärendruck in diesen Raum hineingepresst.

Der Luftdruck regiert die Tension der Flüssigkeiten, d. h. je stärker der Atmosphärendruck ist, um so höheren Widerstand setzt er der Dampfbildung in einer Flüssigkeit entgegen. Soll Wasser ins Sieden geraten, soll es sich in der Form von Dampfbläschen verflüchtigen, so muss die Spannkraft (Tension) des Dampfes ebenso gross sein, wie der auf der erhitzten Flüssigkeit lastende Atmosphärendruck. Damit Wasserdampf eine Tension von 760 mm Quecksilber erreicht, muss das Wasser in einem offenen Gefässe auf $+100^{\circ}$ C. erwärmt sein. Ist hiermit gesagt, dass reines, destilliertes Wasser unter einem Barometerstande von 760 mm bei 100° C. siedet, so ist anderseits dadurch auch ausgedrückt, dass die Siedetemperatur des Wassers nicht immer die gleiche ist, dass sie vielmehr unmittelbar vom herrschenden Luftdruck abhängt.

Je geringer der Atmosphärendruck ist, um so geringere Spannkraft hat der Dampf nötig, um in die Luft hineinströmen zu können — um so niedriger liegt der Siedepunkt.

Stellt man ein Glas mit erwärmtem Wasser, dessen Temperatur 100° C. nicht erreicht, unter die Glocke der Luftpumpe, so kommt

1) Es ist selbstverständlich, dass das Atmen an das Vorhandensein der Atmosphäre überhaupt geknüpft ist. Jedoch ist hier nicht von dieser, nicht von einer das Fortleben des Organismus ermöglichenden Luftart überhaupt die Rede, sondern von der spezifischen Eigenschaft dieser Luft, einen Druck auszuüben.

das Wasser zum Kochen, wenn man die Luft unter der Glocke verdünnt. — Bekannt ist die Thatsache, dass es auf hohen Bergen nicht gelingt, Eier in einem offenen Gefässe mit Wasser hart zu kochen: Der herrschende niedrige Luftdruck bringt das Wasser schon bei einer Temperatur zum Sieden, die zur Gerinnung der Eiweissstoffe noch nicht hinreicht.

Der Luftdruck ist keineswegs eine gleichbleibende Grösse, auch wenn man von Höhenunterschieden absieht. Die Verwendung des Barometers als Wetterglas gründet sich ja einzig und allein auf die Beobachtung, dass der Atmosphärendruck recht erheblichen zeitlichen Schwankungen unterworfen ist: Erwärmt sich die Luft, so dehnt sie sich aus und steigt in die Höhe. Sie wird also leichter und übt demgemäss einen geringeren Druck auf die Quecksilbersäule aus — das Barometer sinkt. Umgekehrt muss die Abkühlung der atmosphärischen Luft über einem bestimmten Orte oder das Zuströmen kalter Luft dorthin ein Steigen des Barometers zur Folge haben, denn kalte Luft ist dichter, also schwerer und übt demgemäss einen stärkeren Druck auf die Quecksilbersäule aus.

Weiter ist auch die Feuchtigkeit, d. h. der Wasserdampfgehalt der Luft, von Einfluss auf den Stand des Barometers. Auf Seite 12 wurde ausgeführt, dass das Aufnahmevermögen der Luft für Wasserdampf mit zunehmender Temperatur steigt. Warme, leichte Luft kann mehr Wasserdampf in sich aufnehmen als kalte, schwere Luft.

Wasserdampf selbst ist leichter als Luft; feuchte Luft ist also leichter als trockne — mit der Zunahme der Feuchtigkeit (des Wasserdampfes) in der Luft sinkt das Barometer. Natürlich hängt der Barometerstand von der absoluten Feuchtigkeit (vgl. S. 12) ab, nicht von der relativen. Die absolute Feuchtigkeit steigt aber gleichzeitig mit dem Steigen der Temperatur; es wird also warme Luft durch ihren grösseren Feuchtigkeitsgehalt auch um so mehr erniedrigend auf das Barometer einwirken können. Einige Ergänzungen zu diesen Erörterungen bringt das meteorologische Kapitel (Das Wetter).

Die Schwankungen des Luftdruckes trennt man in solche nach Ort und solche nach Zeit.

Die örtliche Verteilung des Luftdruckes verzeichnet man gewöhnlich in Form der sogen. Isobaren, d. h. durch Linien, die Orte mit durchschnittlich gleichem Luftdruck verbinden. Ausdrücklich sei bemerkt, dass man dabei von den Unterschieden in der Höhenlage absieht, dass man also zur Berechnung der Isobaren

die Barometerstände „auf Meeresniveau“ reduziert, d. h. so umrechnet, als ob alle Orte in der Höhe des Meeres lägen ¹⁾.

Die Isobaren müssen in Rücksicht auf eine gewisse Zeit aufgestellt werden. Gewöhnlich verbinden sie die Orte mit gleichem Monatsmittel des Luftdruckes, also mit gleichem mittlerem Barometerstand für einen bestimmten Monat ²⁾. Selten werden grössere Zeiträume der Aufstellung der Isobaren zu Grunde gelegt, während man recht häufig kürzere wählt, so z. B. Isobarenkarten einzelner bestimmter Tage aufstellt, die von grösstem Wert für die Wettervorhersage sind.

Während die Isobaren der einzelnen Tage ganz verschieden sind und sich auch keineswegs jährlich (oder in noch grösseren Zwischenräumen) an den gleichen Kalendertagen zu wiederholen pflegen, ist für die Monatsisobaren eine gewisse Regelmässigkeit festgestellt worden, sodass z. B. im Juli die niedrigsten Barometerstände (die Minima) im Innern Asiens und Nordamerikas und längs dem Äquator über dem Stillen Ozean liegen, dagegen die höchsten Barometerzahlen (die Maxima) über dem Nordatlantischen Meere und dem südlichen Ozean beobachtet werden.

Was die zeitliche Verteilung des Luftdruckes betrifft, so ist die Tagesschwankung des Luftdruckes nur in den Äquatorialgegenden, den Tropen, scharf ausgeprägt und einer gewissen Regelmässigkeit unterworfen. Man beobachtet dort zwei mal in 24 Stunden ein Steigen und ebenso oft ein Fallen des Barometers, und zwar treffen die Maxima wie die Minima im allgemeinen immer auf dieselben Tagesstunden ³⁾. Jedes Steigen des Barometers fällt dabei mit dem Steigen der absoluten Feuchtigkeit zusammen, während das Barometer sinkt, wenn der Feuchtigkeitsgehalt heruntergeht. Es sieht so aus, als ob diese Thatsache in Widerspruch stünde mit den Erörterungen auf voriger Seite, wonach mit zunehmender Feuchtigkeit das Barometer sinkt. Dieser Widerspruch ist aber nur scheinbar, denn mit der Erwärmung der Luft (die sich in einem Sinken des Barometerstandes offenbart) bildet sich ein aufsteigender Luftstrom,

1) Diese Umrechnung ist ohne jede Schwierigkeit möglich, wenn man die Höhe des in Betracht kommenden Ortes über dem Meeresspiegel kennt. Man weiss, um wieviel mm Quecksilber das Barometer in dieser Höhe niedriger stehen muss, als unter gleichen Verhältnissen am Meeresspiegel; man hat also ebensoviel mm zu dem beobachteten Barometerstand hinzuzurechnen.

2) Für verschiedene Monate sind die Isobaren verschieden, d. h. Orte, die einen gleichen mittleren Luftdruck im Januar haben, brauchen solchen noch nicht auch für den August zu besitzen.

3) Natürlich gilt das eben nur im allgemeinen, also für eine normale Witterung; plötzliche Wetterwechsel können erhebliche Verschiebungen in dieser Hinsicht herbeiführen.

der einen Teil des Wasserdampfes mit sich fortführt. Am Abend dagegen sinkt die erkaltende Luft nach unten; sie bringt einestheils die Feuchtigkeit wieder zurück und erhöht andertheils den Barometerstand auch um deshalb, weil sie dichter ist. —

In der gemässigten und in der kalten Zone ist die tägliche Schwankung des Luftdruckes nur geringfügig; das liegt offenbar daran, dass in diesen Breiten kein so ausgesprochener Temperaturwechsel zwischen Tag und Nacht stattfindet, wie in den Tropen, dass also auch so jähe Luftströmungen nach aufwärts und dann wieder nach unten zu den Seltenheiten gehören. In der gemässigten Zone wird vielmehr der Barometerstand der Hauptsache nach von horizontalen Luftströmungen beeinflusst, von solchen also, die nicht dem Temperaturwechsel eines und desselben Ortes, sondern den Wärmedifferenzen grösserer Land- oder Länderstrecken ihre Entstehung verdanken.

Was nun die monatliche und die jährliche Schwankung des Atmosphärendruckes betrifft, so zeigen sich die niedrigsten Barometerstände im Sommer, die höchsten im Winter. Dies ist nach Seite 47 leicht verständlich: Der Winter bringt uns kalte und trockne — also schwere Luft; im Sommer ist die Luft warm und feucht — also leicht. In einem Monat pflegen die Schwankungen des Barometers in unsern Breiten etwa 12—20 mm zu betragen. Im Jahre sind Unterschiede von über 40 mm Quecksilberdruck bei uns ungewöhnlich.

Das Kapitel „Das Wetter“ enthält ein sogen. Meteorogramm, d. h. die Isobarenbezeichnung für einen bestimmten Tag. Man vergleiche dort auch die Rückschlüsse, die die Isobarenform auf die bevorstehende Witterung gestatten.

2. Luftwärme.

Die Luftwärme hat selbstverständlich — wie alles Irdische — ihren Ursprung in der Sonnenwärme. Aber es ist doch zum wenigsten die Sonne direkt, der die Luft ihre Erwärmung verdankt.

Keine Eigenschaft der Luft ist für die ganze organische Schöpfung wichtiger als ihr geringes Wärmeleitungsvermögen. Wegen ihrer fast vollkommenen Durchsichtigkeit lässt sie zwar die leuchtenden Wärmestrahlen ohne merkliche Hinderung durch ihre Masse bis zur Erdoberfläche hindurchstreichen; aber sie setzt den nichtleuchtenden (dunkeln) Wärmestrahlen, die von der Erdoberfläche nach oben zurückgeworfen (reflektiert) werden, einen ganz bedeutenden Widerstand entgegen. Exakter kann man sagen: Die Sonne erwärmt die Erde durch Wärmestrahlung, ohne dass

dabei die zwischenliegende Atmosphäre gleichzeitig merklich erwärmt würde; die Erde erwärmt die Luft mehr durch Wärmeleitung: Die den erwärmten irdischen Körpern unmittelbar anliegenden Luftschichten nehmen Wärme auf, erwärmen sich selbst, werden leichter und steigen nach oben; neue Luftschichten gelangen zur Erde und führen wieder Wärme mit hinweg u. s. w. So erwärmt sich die Luftmasse selbst und giebt die gewonnene Wärme nur langsam wieder in der Richtung nach dem Weltenraum hin ab. Die Abgabe der Wärme von der Atmosphäre aus ist also gegenüber der Aufnahme durch diese erheblich verzögert; in dem Luftmeere wird ein Wärmeverrat längs der Erdoberfläche und unmittelbar darüber festgehalten, und dieser Wärmeverrat allein ist es, der alles Leben und alles Wachstum auf der Erde ermöglicht und erhält. Ohne diesen Luftpanzer würde die Wärme ebenso schnell in den Himmelsraum zurückstrahlen wie sie gekommen; gleich dem Lichte würde sie mit ungeheurer Geschwindigkeit wieder reflektiert werden — und alles Leben auf der Erde wäre unmöglich.

„Aber ¹⁾ die Temperatur der wärmenden Decke der Atmosphäre ist bekanntlich sehr ungleich an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten. Am grössten unter den senkrechten Sonnenstrahlen der Tropenzone, nimmt sie im allgemeinen ab gegen die Pole hin, doch auch in der Tropenzone wird sie durch die verschiedene Gestaltung der Erdoberfläche, durch die Nähe des Meeres, durch die herrschenden Winde so sehr beeinflusst, dass sie in denselben Breiten oft bedeutende Unterschiede zeigt. Besonders bemerkenswert ist die Abnahme der Temperatur nach der Höhe hin, denn über hohen Gebirgen ist die schützende Decke der Atmosphäre viel dünner, dort kann die ausstrahlende Wärme des Erdbodens viel schneller in den Weltenraum zurückentweichen, dort ist also auch der aufgespeicherte Wärmeverrat und die Temperatur viel geringer als in der Tiefe.“

Dass die Verteilung von Wasser und Land die grösste Bedeutung für die Erwärmung der Luft hat, ist ohne weiteres einzusehen: Wasser bedarf vier mal soviel Wärme als der Boden, wenn gleiche Gewichtsmengen beider um eine gleiche Anzahl Grade erwärmt werden sollen; hierzu kommt, dass die Sonnenstrahlen in das Wasser, wenn auch nicht mit gleicher Leichtigkeit wie in die Luft, so doch sehr tief eindringen, bevor sie verschluckt werden, d. h. bevor sie ihre Wärme an das umgebende Wasser abgegeben haben. Im Wasser verbreiten daher die Sonnenstrahlen ihre wärmende Kraft durch eine grössere Masse, eine Wirkung, die durch die Beweglich-

1) Zum Teil nach Hartwig, Das Leben des Luftmeeres.

keit des Wassers, durch Wellenschlag und Strömung nicht wenig gefördert wird.

Grössere Landmassen erwärmen sich durch die Sonnenstrahlen sehr kräftig und können daher während des Tages eine hohe Lufttemperatur veranlassen. Andererseits können sie aber auch während der Nacht stark abkühlen, weil der Boden kräftig ausstrahlt, und weil die über Landflächen lagernde Luftschicht oft klar und wolkenlos ist, wodurch die Ausstrahlung nach dem freien Weltenraum hin natürlich gefördert wird.

Die Gewässer werden aber, auch abgesehen von den vorhergenannten Momenten, schon um deshalb weniger erwärmt, weil ein Teil der auffallenden Strahlen direkt reflektiert wird, also garnicht zur Wirkung gelangt ¹⁾. Weiter bringt es die von grösseren Wasserflächen stetig aufsteigende Feuchtigkeit mit sich, dass sich darüber Wolken zusammenballen, dass also über dem Wasser gewöhnlich eine dunstige, trübe Luft lagert, die schon den ankommenden Sonnenstrahlen grösstenteils den Zutritt zum Wasser verwehrt. Endlich verbraucht die Wasserverdunstung ja selbst Wärme, sodass auch hierfür ein Teil der vom Wasser aufgenommenen Sonnenwärme verzehrt wird.

Auf der andern Seite ist freilich wieder zu bedenken, dass das Wasser sehr viel Wärme in sich aufnehmen kann und dass es ein sehr geringes Ausstrahlungsvermögen für die Wärme besitzt, sodass also grosse Wassermassen eine gleichmässige Wärmeabgabe mit sich bringen.

Es geht aus alledem hervor, dass über ausgedehnten Landgebieten die Lufttemperatur grossen Schwankungen unterworfen ist, während in der Regel über Wasserflächen eine mehr gleichmässige Lufttemperatur herrscht.

Von weiteren Momenten, die die örtliche Verteilung der Luftwärme erheblich beeinflussen, sind die Winde und die Meeresströmungen zu nennen. Erstere können entweder direkt warme oder kalte Luft nach andern Orten hinführen, oder sie können die Durchsichtigkeit der Luft beeinflussen, also entweder trübe, regnerische Atmosphäre oder Klarheit und Durchsichtigkeit veranlassen und so mittelbar den Zutritt der Sonnenstrahlen befördern oder verhindern.

Wie man die örtliche Verteilung des Luftdruckes in Form der Isobaren aufzeichnet, so verbindet man auch die Orte der gleichen Mitteltemperatur durch Linien, die man mit dem Namen *Isothermen* belegt hat. Man unterscheidet *Jahresisothermen* und *Monatsisothermen*, je nachdem das monatliche oder das

1) Dasselbe gilt auch von Eisflächen.

jährliche Temperaturmittel den gezeichneten Isothermen zu Grunde gelegt wird.

Da die Sonnenstrahlen um so kräftiger wirken, je mehr sich der Winkel zwischen Strahlen und bestrahltem Körper einem Rechten (90°) nähert, so ist es klar, dass die Isothermen im allgemeinen den Breitengraden parallel sind, dass also die Maxima der Isothermen mit dem Äquator zusammenfallen.

Aber diese Grundrichtung weist doch im einzelnen zahlreiche Abweichungen auf; es zeigen sich Ausbuchtungen und Einsenkungen, denen mannigfache Ursachen zu Grunde liegen. „Auf¹⁾ der nördlichen Hemisphäre gehen z. B. die Isothermen von 0° — 5° u. s. w. viel tiefer hinab, wie auf der südlichen, offenbar weil hier die grösseren Wassermassen mehr ausgleichend wirken. Aus demselben Grunde sehen wir eine starke Aufbiegung der Isothermen an der Westküste Europas und Nordamerikas, eine tiefe Senkung gegen das Innere und die Ostküste der grossen Kontinente. Ferner ist die besonders starke Aufbiegung der Isothermen über England und Irland durch den Golfstrom und durch das Vorherrschen von Seewinden während des Winters veranlasst.“

Im allgemeinen unterscheidet man nach den Isothermen drei Zonen:

1. Die warme Zone mit einer mittleren Jahrestemperatur von über 20° ; innerhalb dieser liegt
 - a) der Tropengürtel, wo die mittlere Temperatur des kältesten Monats noch über 20° beträgt
 - und b) der Ektropengürtel, wo die mittlere Temperatur des kältesten Monats unter 20° liegt.
2. Die gemässigte Zone mit einer mittleren Jahrestemperatur zwischen 0° und 20° ; innerhalb dieser liegt
 - a) der Äquatorialgürtel, wo die mittlere Temperatur des kältesten Monats über 0° beträgt
 - und b) der Polargürtel, wo die mittlere Temperatur des kältesten Monats unter 0° liegt.
3. Die kalte Zone mit einer mittleren Jahrestemperatur unter 0° ; innerhalb dieser liegt
 - a) der Äquatorialgürtel, wo die mittlere Temperatur des wärmsten Monats über 0° beträgt
 - und b) der Polargürtel, wo die mittlere Temperatur des wärmsten Monats unter 0° liegt.

Hinsichtlich der zeitlichen Änderungen der Lufttemperatur hat man zu unterscheiden zwischen der Tagesschwankung, der Monats-

1) Nach Flügge, l. c.

und der Jahresschwankung. (Selbstverständlich könnte man auch andere Zeitabschnitte auf die Temperaturschwankungen untersuchen, doch sind eben die oben genannten drei Zeiträume bisher allein berücksichtigt worden.)

Die Unterschiede der Tagesschwankungen in verschiedenen Breitengraden — oder richtiger gesagt, die Unterschiede in der Grösse dieser Schwankungen — erklären sich daraus, dass die Begriffe Tag und Nacht in verschiedenen Breiten und zu verschiedenen Zeiten ausserordentlich wechseln: An den Polen ist die Hälfte des Jahres als Tag, die andere Hälfte als Nacht zu betrachten; am Äquator dauert, ohne Rücksicht auf die Jahreszeit, der Tag 12 Stunden und die Nacht 12 Stunden. In den zwischenliegenden Breiten ändert sich das Verhältnis von Tag zu Nacht mit der Entfernung vom Äquator und mit der Jahreszeit. — Alle diese Einflüsse sind übrigens nicht so bedeutend wie die Einwirkung der Bodengestaltung an dem betreffenden Orte: Auf dem Meere ist die Tagesschwankung selbst am Äquator sehr gering; innerhalb ausgedehnter, ununterbrochener Länderstrecken ist sie selbst in der Polarregion noch beträchtlich. Dazu kommen rein lokale Einflüsse, wie die Lage zwischen Bergen oder auf Hochebenen, die Neigung zur Bewölkung u. s. w.

Die stärksten Wärmeunterschiede innerhalb 24 Stunden beobachtet man in der Sahara, in der westlichen Hochebene Nordamerikas, im westlichen Tibet. Dort finden sich Tagesschwankungen von 40—42° C. Die Temperatur kann dort nachmittags 2 Uhr bis 38° betragen, des Nachts aber durch intensive Ausstrahlung gegen den völlig klaren Himmel bis unter den Gefrierpunkt sinken. — In denselben Breiten ist dagegen über dem Atlantischen Ozean die mittlere tägliche Schwankung zu 1,6° C. gefunden worden.

In der gemässigten Zone beobachtet man das Minimum der Tagestemperatur gewöhnlich kurz vor Sonnenaufgang¹⁾, während die höchste Temperatur des Tages im allgemeinen in die Zeit zwischen 2 und 3 Uhr nachmittags fällt. Vor Sonnenaufgang bis kurz nach Mittag (bis 1 Uhr) pflegt die Luftwärme schnell zu steigen; von 1—5 Uhr nachmittags sind die Schwankungen äusserst gering, und von da an sinkt die Temperatur wieder rasch, bis sie eben nach Mitternacht das Minimum erreicht.

Die täglichen Schwankungen sind grösser während des Sommers. Sie betragen dann in unsern Breiten etwa 9—10°, während sie in den kalten Wintermonaten durchschnittlich nur 4—5° ausmachen. Alles dies sind nur Mittelzahlen; man hat bei uns im Sommer Tagesschwankungen von mehr als 20° beobachtet und anderseits im Winter

1) Im Winter liegt das Minimum näher an Mitternacht.

solche von weniger als 1° verzeichnet. Übrigens fallen die hohen Tagesschwankungen nicht immer mit der warmen Sommerzeit zusammen, sondern es kommen derartige ungewöhnlich hohe Schwankungen namentlich auch im Frühling — zuweilen sogar an Wintertagen — vor, wenn das Wetter sich plötzlich ändert und der Wind umschlägt.

Man unterscheidet die periodische von der aperiodischen Tagesschwankung. Unter der periodischen Tagesschwankung versteht man die im Mittel beobachteten Temperaturunterschiede zwischen der (nach Erfahrung) heissesten und der kältesten Tagesstunde; dabei wird als heisseste Tagesstunde 2 Uhr mittags, als kälteste 6 Uhr früh angesehen. Die aperiodische Tagesschwankung giebt dagegen den mittleren Temperaturunterschied an, der überhaupt zwischen dem Maximum und dem Minimum der Tagestemperatur — ohne Rücksicht auf die Tageszeit — zu verzeichnen war.

Zieht man ein ganzes Jahr hinsichtlich der Temperaturverhältnisse in Rechnung, so ist es ohne weiteres klar, dass die geringsten Wärmeschwankungen den äquatorialen Breiten eigen sein müssen, da dort der Begriff der Jahreszeiten beinahe ganz verschwindet. Dem gegenüber muss das Polarklima, wo $\frac{1}{2}$ Jahr ununterbrochen warmer Sommer und immerwährender Tag herrscht, während im andern Halbjahr die Sonne fast gar nicht scheint, die grössten Temperaturschwankungen im Jahr aufzuweisen haben.

Wie aber alle meteorologischen Faktoren nur bedingungsweise Gültigkeit haben und durch alle möglichen andern Einflüsse wieder verschoben werden, so ist es auch hier: Der Einfluss der Breitengrade muss bei weitem zurücktreten gegenüber den mächtigen Einwirkungen, die die Bodengestaltung, die Verteilung zwischen Land und Wasser, mit sich bringt. Die jährlichen Temperaturschwankungen des Seeklimas bleiben immer geringer als die der Luft über ausgedehnten Landstrecken; die geringsten Jahresschwankungen hat das tropische Seeklima, die stärksten Temperaturdifferenzen hat das polare Innenlandsklima aufzuweisen.

Man unterscheidet die unperiodische von der absoluten mittleren Jahresschwankung. Unter der unperiodischen mittleren Jahresschwankung versteht man die Differenz zwischen den mittleren Maximal- und den mittleren Minimaltemperaturen des betreffenden Jahres. Die absolute Jahresschwankung verzeichnet dagegen die Differenz zwischen der überhaupt beobachteten (absolut) höchsten und der absolut niedrigsten Temperatur, die während der ganzen Beobachtungsdauer vorgekommen ist.

Genau ebenso spricht man von der unperiodischen mittleren Monatsschwankung und der absoluten Monatschwankung; erstere zieht die Differenz zwischen den mittleren Maximal- und den mittleren Minimaltemperaturen des Monats, letztere die Differenz zwischen den überhaupt beobachteten höchsten und niedrigsten Temperaturen des Monats in Betracht.

Die Grösse der mittleren Temperaturschwankung des Jahres dient mit zur Unterscheidung klimatischer Zonen, und zwar unterscheidet man

1. See- oder Äquatorialklima mit einer mittleren Jahresschwankung der Luftwärme von höchstens 15° C.
2. Das Übergangsklima mit einer mittleren Jahresschwankung der Lufttemperatur von $15-20^{\circ}$ C.
3. Das Landklima mit einer mittleren Jahresschwankung der Lufttemperatur von $20-40^{\circ}$ C.
4. Das excessive Landklima mit einer mittleren Jahresschwankung der Lufttemperatur von $40-60^{\circ}$ C.

Die mittlere Jahresschwankung (Jahresvariation) hat eine ausserordentlich grosse Bedeutung. Flüggé (l. c.) schreibt: „Wie wichtig es für die Charakterisierung eines Klimas ist, dass neben der mittleren Jahrestemperatur auch die mittlere Jahresvariation der Temperatur angegeben wird, das geht z. B. aus einem Vergleich zwischen Dublin und Astrachan hervor. Beide Orte zeigen gleiche mittlere Jahreswärme; der Unterschied zwischen heissestem und kältestem Monat beträgt aber in Dublin nur 11° , in Astrachan 33° ; die unperiodische Jahresschwankung beziffert sich in Dublin auf 30° , in Astrachan auf 62° .“

Man hat sich auch mit der Aufstellung von Tages-, Monats- und Jahresschwankungen der Lufttemperatur noch nicht zufrieden gegeben, sondern man hat noch den Begriff der absoluten und der mittleren Extreme eingeführt. Als absolutes Extrem bezeichnet man die höchste und anderseits die niedrigste Temperatur, die überhaupt während der gesamten Beobachtungsjahre vorgekommen ist; man spricht demgemäss von einem absoluten maximalen Extrem und von einem absoluten minimalen Extrem der Temperatur. Die mittleren Temperaturextreme berechnet man so, dass man die höchsten (und anderseits die niedrigsten) Temperaturen der einzelnen Beobachtungsjahre zusammenzählt und durch die Zahl der Jahre dividirt.

Auch hinsichtlich der Temperaturextreme stehen naturgemäss ausgesprochen kontinentale Gegenden oben an, während die Extreme des Seeklimas sich in bescheidenen Grenzen halten.

Noch bleibt übrig, auf die Veränderlichkeit der Temperatur von Tag zu Tag einzugehen. Während man früher die mittlere Abweichung der Temperatur von der normalen Durchschnittstemperatur derselben Jahres- und Tageszeit als „Veränderlichkeit der Temperatur“ verzeichnete, versteht man jetzt unter der Veränderlichkeit der Temperatur den unperiodischen Temperaturwechsel, der sich von einem Tag zum andern vollzieht. Ist dieser Temperaturwechsel gross, so gebraucht man dafür den Ausdruck „veränderliches Wetter“; tritt ein derartiger starker Wechsel wiederholt in einem grösseren Abschnitt des Jahres auf, so spricht man von einem veränderlichen Klima.

Will man die mittlere Veränderlichkeit der Temperatur für einen Monat berechnen, so hat man die Differenzen zwischen den Mitteltemperaturen je zweier auf einander folgender Tage zu verzeichnen, sämtliche so gefundene Temperaturdifferenzen (für alle Tage des Monats) zu addieren und durch die Zahl der Monatstage zu dividieren.

Auf gleiche Weise erhält man die mittlere Veränderlichkeit des Jahres, indem man die einzelnen Monatswerte in Rechnung setzt.

Auch die Veränderlichkeit der Temperatur steigt im allgemeinen mit den Breiten nach den Polen hin. Aber es finden sich doch ausserordentlich viele und bedeutende Abweichungen davon. Lokale Einflüsse und zumal die herrschenden Windrichtungen sind von ausschlaggebendem Einfluss. Im ganzen steigt die Grösse der Veränderlichkeit nach dem Innern der Kontinente zu, und sie steigt weiter mit zunehmender Höhenlage. Was die Jahreszeit anlangt, so fällt die grösste Veränderlichkeit in den Winter, die geringste in den Sommer.

3. Luftfeuchtigkeit.

Das Kapitel der Luftfeuchtigkeit ist schon bei der Behandlung der gasförmigen Luftbestandteile unter „Wasserdampf“ (Seite 11 ff.) in den Grundzügen besprochen worden; es sind also hier nur einige Ergänzungen zu bringen.

Die zeitlichen Schwankungen des Wasserdampfgehaltes teilt man in solche der absoluten und solche der relativen Feuchtigkeit.

Die absolute Feuchtigkeit schwankt nicht nur in grösseren Zeiträumen, sondern auch innerhalb der einzelnen Tage ziemlich erheblich. Schon Seite 48 ist angeführt, dass an normalen Tagen (innerhalb 24 Stunden) die Feuchtigkeit zweimal ansteigt und

zweimal wieder abfällt, dass also innerhalb 24 Stunden 2 Feuchtigkeitsmaxima und 2 Feuchtigkeitsminima liegen.

In der gemässigten Zone liegt das Minimum der Luftfeuchtigkeit an klaren Sommertagen kurz vor Sonnenaufgang, was sich daraus erklärt, dass während der Nacht gewöhnlich ein Teil des Wasserdampfes durch Taubildung ausgeschieden wird. Von Sonnenaufgang steigt die absolute Feuchtigkeit der Luft, weil unter dem Einfluss der Sonnenstrahlen ein Teil der Bodenfeuchtigkeit verdunstet und in die Luft übergeht. Dieses Anwachsen des Wasserdampfgehaltes setzt sich aber nur bis etwa 9 Uhr morgens fort; dann wird die Wärmewirkung stärker und bildet einen leichteren (aufsteigenden) Luftstrom, der einen Teil des Wasserdampfes mit sich wegführt. So erklärt es sich denn, dass von 9 Uhr vormittags bis ungefähr 4 Uhr nachmittags die absolute Feuchtigkeit andauernd abnimmt. Erst von letztgenanntem Zeitpunkte ab steigt die absolute Feuchtigkeit wieder und zwar bis etwa 9 Uhr abends, weil sich die Luft allmählich abkühlt, nach unten senkt und Wasserdampf mit herabbringt. Von 9 Uhr abends ab endlich verringert sich die Wasserdampfmenge in der Luft wieder, weil nun durch die nächtliche Abkühlung ein Teil der Feuchtigkeit kondensiert, d. h. in Form von Nebel oder Tau ausgeschieden wird. So bieten also warme Sommertage zwei Maxima der absoluten Luftfeuchtigkeit, wovon eins etwa bei 9 Uhr morgens, das andere gegen 9 Uhr abends liegt; die Minima der absoluten Feuchtigkeit hingegen sind einerseits um 4 Uhr nachmittags und andererseits früh kurz vor Sonnenaufgang zu verzeichnen.

Diese täglichen Schwankungen im Wasserdampfgehalt der Luft verschieben sich aber bedeutend, wenn die Witterung trübe ist, ja es kann dann eintreten, dass die absolute Feuchtigkeit innerhalb 24 Stunden überhaupt konstant bleibt oder nur sehr wenig differiert. Dasselbe ist in gewisser Hinsicht auch vom Winter zu sagen; hier lässt sich gewöhnlich nur ein Feuchtigkeitsmaximum gegen 2 Uhr nachmittags und ein Minimum gegen Sonnenaufgang beobachten; auch sind die Unterschiede gewöhnlich nicht sehr bedeutend.

Von der absoluten Feuchtigkeit ganz verschieden ist die relative Feuchtigkeit (vgl. Seite 12), also das prozentuelle Verhältnis der wirklichen Feuchtigkeit zu der bei der herrschenden Temperatur überhaupt möglichen maximalen (Sättigungs-) Feuchtigkeit.

Was die täglichen Schwankungen der relativen Feuchtigkeit in der Luft anlangt, so fällt im Durchschnitt das Maximum mit dem Sonnenaufgang zusammen, und zwar beträgt die relative Feuchtigkeit zu dieser Tageszeit im Mittel etwa 95⁰/₁₀₀. Von da an sinkt die

relative Feuchtigkeit allmählich, um zwischen 2 und 4 Uhr nachmittags das Minimum zu erreichen; dieses Minimum beträgt im Mittel etwa 65—75%. Gegen Abend und während der Nacht steigt dann die relative Feuchtigkeit wieder an bis zum Sonnenaufgang.

Die jährliche Verteilung der absoluten Feuchtigkeit weist in der gemässigten Zone das Maximum durchschnittlich im Juli, das Minimum gewöhnlich im Januar auf. Die absolute Feuchtigkeit steigt eben gleichzeitig mit der Temperatur und fällt auch mit ihr, wie dies erklärlich wird, wenn wir uns nochmals erinnern, dass sich mit höherer Temperatur auch das Aufnahmevermögen der Luft für Wasserdampf vergrössert und dass es mit sinkender Temperatur abnimmt.

Daraus, dass der Sommer die grösste, der Winter die geringste absolute Feuchtigkeit aufweist, erkennen wir ohne weiteres, dass die absolute Feuchtigkeit uns keinen richtigen Anhalt für die Begriffe gewährt, die wir als „trockne“ und als „feuchte“ Luft kennen. Denn jeder weiss, dass die Luft im Hochsommer für unser Gefühl am trockensten — und nach allen Beobachtungen auch, objektiv genommen, am austrocknendsten — ist, während die wasserarme Luft des Winters uns feucht erscheint. Hierin liegt eben der Grund dafür, dass man noch die Begriffe der relativen Feuchtigkeit und des Sättigungsdefizits in die meteorologische Beobachtung eingeführt hat.

Die Jahresschwankung der relativen Feuchtigkeit bewegt sich im grossen und ganzen nur in engen Grenzen. Berücksichtigen wir wieder nur unsere Breiten, also die gemässigte Zone, so finden wir das Maximum der relativen Luftfeuchtigkeit im Winter, und zwar erreicht sie da im Mittel den Betrag von 75—85%. Das Minimum der relativen Feuchtigkeit zeigt der Hochsommer, wo sie durchschnittlich auf 65—75% heruntergeht. Man sieht also, dass die Jahresschwankung der relativen Feuchtigkeit nur geringe Differenzen zeigt. Immerhin kommen im Frühjahr und im Sommer um die Mittagszeit und zumal bei östlichen Winden sehr geringe Zahlen vor, sodass man dann zuweilen zwischen 20 und 40% relative Feuchtigkeit beobachten kann.

„Die¹⁾ örtliche Verteilung²⁾ weist ebenfalls nur geringe Differenzen auf. Über den Kontinenten finden wir im allgemeinen ein Jahresmittel von 60—75 Prozent relativer Feuchtigkeit, an den Meeresküsten 70—80 Prozent. Auch an der Ostküste von Nordamerika beträgt die mittlere relative Feuchtigkeit nahe 70 Prozent. Die niedrigsten Zahlen, 25—30 Prozent, werden beispielsweise

1) Aus Flüge, l. c.

2) Es ist die Rede von der relativen Feuchtigkeit.

beobachtet in Ägypten, während der Chamsin weht; ferner an der Riviera in den Wintermonaten, wo sogar nur 9—13—20 Prozent beobachtet werden, wenn der fönartige, vom kälteren Hinterland aus die ligurischen Alpen übersteigende und beim Absinken sich stark erwärmende Nordwind herrscht.

Die Zahlen zeigen ohne weiteres, dass die austrocknende Wirkung der Luft auch durch die relative Feuchtigkeit nicht gemessen wird. Wir machen stets die Erfahrung, dass die trocknende Wirkung der Luft im Hochsommer der des Winters ein ganz Bedeutendes überlegen ist, viel mehr als dies in den Differenzen der relativen Feuchtigkeit hervortritt. Ferner weisen vielfache Erfahrungen im Innern von Nordamerika — so das schnelle Austrocknen der Neubauten, der Wäsche, aufbewahrten Brotes u. s. w. darauf hin, dass dort eine ganz erheblich trocknere Luft herrscht, als auf unserm Kontinent; trotzdem ist die relative Feuchtigkeit dort kaum geringer als z. B. in Wien. — Die eminent austrocknende Wirkung des Chamsin ist vollauf bekannt, und doch zeigt hier die Luft immer noch höhere relative Feuchtigkeit, als in den Wintermonaten an der Riviera, wo weder Menschen noch Vegetation unter austrocknender Luft zu leiden haben.“

Wir geben untenstehend aus dem mehrfach citierten Flüggenschen Werk eine lehrreiche Tabelle wieder, die die jährlichen

Jahreszeitliche Verteilung der Luftfeuchtigkeit.

	Borkum			Königsberg			Darmstadt		
	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Sättigungs- Defizit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Sättigungs- Defizit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Sättigungs- Defizit
	mm	%	mm	mm	%	mm	mm	%	mm
Januar . . .	4,5	90	0,5	3,5	88	0,4	4,2	83	0,9
Februar . . .	5,1	91	0,5	3,4	86	0,6	4,6	81	1,1
März . . .	5,2	86	0,8	3,8	82	0,8	4,7	73	1,7
April . . .	6,4	84	1,3	5,1	75	1,7	5,7	66	2,9
Mai . . .	7,8	81	1,8	7,0	71	2,9	7,4	64	4,2
Juni . . .	10,6	82	2,4	9,6	72	3,7	9,6	66	4,9
Juli . . .	12,0	82	2,6	10,9	74	3,8	11,1	68	5,3
August . . .	12,0	83	2,5	10,7	75	3,6	10,7	70	4,6
September . . .	10,4	86	1,8	7,3	80	1,8	9,3	74	3,3
Oktober . . .	8,0	87	1,2	6,7	83	1,4	7,0	80	1,7
November . . .	6,1	89	0,7	4,6	87	0,7	5,6	84	1,1
Dezember . . .	5,1	92	0,5	3,8	88	0,5	4,3	87	0,7

Schwankungen der Luftfeuchtigkeit an drei deutschen Orten, Borkum, Königsberg und Darmstadt, wiedergibt und dabei die bedeutsamen Unterschiede zwischen der absoluten Feuchtigkeit, der relativen Feuchtigkeit und dem Sättigungsdefizit erkennen lässt.

Die täglichen Schwankungen des Sättigungsdefizits laufen im allgemeinen parallel mit denen der relativen Feuchtigkeit, sodass also das Minimum des Sättigungsdefizits ungefähr mit der Zeit des Sonnenaufgangs zusammenfällt, während das Maximum zwischen 2 und 4 Uhr nachmittags liegt. Gegenüber der relativen Feuchtigkeit macht das Sättigungsdefizit täglich Schwankungen von etwas grösserem Umfange.

Die jährliche Verteilung des Sättigungsdefizits weist ausserordentlich grosse Unterschiede auf, wie dies ein Blick auf die Tabelle erkennen lässt. Im Juni und Juli ist das Sättigungsdefizit um 500 bis 700 $\%$ grösser als im Dezember und Januar. Bei östlichen Winden erreicht das Sättigungsdefizit an warmen Sommertagen zuweilen eine Höhe von 20 mm ¹⁾ und darüber.

Auch nach der Lage weist das Sättigungsdefizit erhebliche Schwankungen auf; diese starken örtlichen Differenzen sind ebenfalls aus der Tabelle auf Seite 59 zu ersehen. Darmstadt, in der Mitte des Kontinents, hat ein fast doppelt so grosses mittleres Sättigungsdefizit als Borkum, das vom Meer umgeben ist.

Das Sättigungsdefizit ist ein recht wertvoller meteorologischer Faktor. Flügge schreibt:

„Das Sättigungsdefizit giebt einen wesentlich richtigeren Ausdruck für die austrocknende Wirkung der Luft, als die relative Feuchtigkeit. Bei letzterer kommt alles an auf die gleichzeitig herrschende Temperatur. Ist diese hoch, so kann das Sättigungsdefizit trotz bedeutender relativer Feuchtigkeit erheblich sein. Ist die Temperatur niedrig, so kann trotz geringer Feuchtigkeitsprozente das Sättigungsdefizit unbedeutend sein. Die vorerwähnten Erfahrungen über die austrocknendere Wirkung der Luft in Nordamerika finden ihre Bestätigung und Erklärung, sobald man das Sättigungsdefizit als Massstab benutzt. Wir haben dort zwar keine wesentlich niedrigere relative Feuchtigkeit als bei uns, aber durchschnittlich höhere Temperatur, und daraus ergibt sich ein erheblich grösseres Sättigungsdefizit. Bei uns haben wir im Juli

1) Nochmals sei daran erinnert, dass man absolute Feuchtigkeit wie Sättigungsdefizit gewöhnlich in Millimetern Quecksilberdruck angiebt. Vgl. Seite 13, Anm. 2.

eine mittlere Temperatur von 18° und 68 Prozent Feuchtigkeit, in Philadelphia dagegen $24,4^{\circ}$ und 60 Prozent Feuchtigkeit; das Sättigungsdefizit beträgt dann bei uns 4,9 mm, an letzterem Orte 9,1 mm; dementsprechend ist die austrocknende Wirkung der Luft etwa doppelt so gross. — Ebenso erklärt sich jetzt das paradoxe Verhalten Ägyptens und der Riviera. Der Chamsin zeigt bei 25 bis 30 Prozent Feuchtigkeit eine Temperatur von ca. 40° , das Sättigungsdefizit beträgt alsdann 40 mm, eine Zahl, welcher man eben nur in der vegetationslosen Wüste begegnet. An der Riviera beobachten wir dagegen 20 Prozent Feuchtigkeit bei einer gleichzeitigen Durchschnittstemperatur von etwa 10° ; das Sättigungsdefizit beträgt alsdann 7 mm, d. h. dasselbe ist immerhin noch so gering, dass von einer lästigen austrocknenden Wirkung nicht die Rede sein kann.“

4. Bewölkung.

Das Kapitel der Bewölkung steht mit dem der Luftfeuchtigkeit im engsten Zusammenhang. Denn die Bewölkung und alles, was dazu gehört, wird nur durch den Wasserdampf der Luft hervorgebracht. Man fasst sonst alle jene Erscheinungen, die hierher gehören, unter dem Namen „atmosphärische Niederschläge“ zusammen; hier werden wir aber aus praktischen Gründen gesondert die Bewölkung (einschliesslich Nebel) besprechen und in dem darauf folgenden Kapitel die atmosphärischen Niederschläge im engeren Sinne, nämlich Tau, Reif, Regen, Schnee, Graupeln und Hagel zu behandeln haben.

Vorweg sei erklärt, wie der Tau entsteht: Verdichten sich die Wasserdämpfe der Atmosphäre an festen, kälteren Gegenständen der Erdoberfläche, so nennt man diese Erscheinung Tau. Natürlich ist es für die Taubildung — wie für jede Ausscheidung von Wasserdampf aus der Atmosphäre — notwendig, dass die Luft mehr Feuchtigkeit enthält, als sie bei der herrschenden Temperatur in Dampfform bei sich behalten kann. Die Taubildung hat also eine Abkühlung der Luft zur Vorbedingung.

Ist so die Erscheinung des Taus erläutert, so wurde in früherer Zeit der Nebel so erklärt, dass auch er, wie der Tau, durch Kondensation von Wasserdampf beim Abkühlen der Luft entstehe, dass aber hier die Kondensation der Wassertröpfchen nicht an festen Körpern, sondern an kalten Luftmassen vor sich gehe. Diese Ansicht hat sich neuerdings als unzutreffend herausgestellt; man hat gefunden, dass zu jeder Art von Dampfverdichtung ein fester Körper gehört, an dem die Kondensation erfolgt. Schon Seite 27 wurde darauf hingewiesen, dass die Nebelbildung an das Vorhandensein von Staub, also von sehr kleinen festen Körperchen geknüpft

ist, und dass es namentlich die Sonnenstäubchen sind, die die Nebelbildung möglich machen. Demnach kann man definieren:

Die Taubildung ist eine Kondensation von Wasserdampf aus der Atmosphäre an festen Körpern der Erdoberfläche; die Nebelbildung ist eine Kondensation von Wasserdampf aus der Atmosphäre an festen Körpern (Staubteilchen), die in der Atmosphäre selbst schweben.

Der Nebel ist also kein Wasserdampf, er ist vielmehr flüssiges Wasser in äusserst feiner Verteilung; er besteht aus sehr kleinen Wassertröpfchen.

Genau so wie sich die von uns ausgeatmete wasserdampfreiche Luft ¹⁾ im Winter beim Austritt in die kalte Aussenluft bis zur Ausscheidung von Wasser abkühlt und so einen Nebel im kleinen bildet — genau so ist die Entstehung des Nebels im grossen:

Ist am Abend das Wasser der Flüsse und Seen, der Wiesen und Moore wärmer als die Luft, so werden die aus dem Wasser aufsteigenden Dämpfe in der kälteren Luft abgekühlt; bei der geringeren Luftwärme kann nicht die ganze Dampfmenge luftförmig bleiben, und ein Teil geht in Nebel über. Auch Winde können die Ursache der Abkühlung von wasserdampfreichen Luftmassen bilden: Die Herbstnebel entstehen im allgemeinen so, dass der Nordostwind kältere Luft bringt, die ihrerseits die warmen, wasserdampfreichen Luftmassen bis zum Taupunkt (vgl. Seite 13) abkühlt. Die Entstehung der Winternebel erfolgt dagegen gewöhnlich auf umgekehrte Weise, nämlich so, dass der Südwestwind wärmere und feuchte Luftmassen mitbringt, die beim Eindringen in die kalte Winterluft bis unter den Taupunkt abgekühlt werden. Da die zur Nebelbildung nötigen feinen Sonnenstäubchen wohl niemals in der Atmosphäre fehlen, so kann man ohne weiteres sagen:

Nebel bilden sich, wenn wärmere, feuchte Luftmassen nahe der Erdoberfläche durch Berührung mit kalter Luft stark genug abgekühlt werden.

Das Fallen des Nebels betrachtet man allgemein als ein Vorzeichen für schönes (heiteres) Wetter, während dem Steigen des Nebels schlechtes Wetter (Regen) folgen soll. Diese Sätze sind im allgemeinen richtig, wie leicht einzusehen ist: Fällt der Nebel und kondensiert er sich an der kälteren Erdoberfläche, so verliert dadurch

1) Die Ausatemungsluft ist natürlich keineswegs als „Luft“ in dem allgemeinen, sonst in vorliegendem Werke gebrauchten Sinne aufzufassen, da sie viel ärmer an Sauerstoff und viel reicher an Kohlendioxyd ist als die atmosphärische Luft.

die Luft einen Teil ihres Wassergehaltes — sie wird trockner. Steigt aber der Nebel, werden also die kleinen ausgeschiedenen Wasserbläschen mit in höhere Luftschichten emporgeführt, so vermehrt dies noch den Wassergehalt der an sich schon feuchten Luft — baldiger Regen ist wahrscheinlich.

Die Wolken sind nichts anders als der Nebel; Wolken sind Anhäufungen von Nebeltröpfchen in der Höhe. Reimann¹⁾ sagt: „Wie die Nebel, so bestehen auch die Wolken teils aus Wasserbläschen, teils aus Wassertröpfchen, soweit sie nicht in grosser Höhe, wo die Temperatur unter dem Gefrierpunkt steht, aus Eisnadeln bestehen. Diese Bläschen, Tröpfchen oder Nadeln werden bei einem gegen ihre Oberfläche äusserst geringen Gewichte durch den Widerstand der Luft schwebend erhalten. Ausserdem ist z. B. eine ruhig am Himmel stehende Sommerwolke nicht etwas in sich Beständiges, aus denselben Nebelkörperchen bestehendes, sondern sie ist in beständiger Rückbildung (zu Dampf) und [ebenso anderseits in beständiger] Neubildung begriffen. Sie zeigt nur den Ort an, wo eine beständige Ausscheidung von Wasserdampf vor sich geht, indes in der höheren Temperatur ihrer Umgebung die entstandenen Wasserbläschen immer wieder in Dampf aufgelöst werden. Die am Berge hängende Wolke erscheint uns beim Aufsteigen und Eintreten in die selbe als das, was sie ist, als ein Nebel. Nur die Ferne giebt ihr die abgeschlossene, plastische Gestalt.“

Die²⁾ gewöhnliche Veranlassung zur Wolkenbildung giebt ein aufsteigender Luftstrom, der viele Wasserdämpfe mit sich emporführt. Je höher die Luft steigt, um so geringer wird der auf ihr lastende Atmosphärendruck — sie dehnt sich mehr und mehr aus, und bei dieser Ausdehnung wird ebensogut Wärme verbraucht wie bei jeder Verdunstung³⁾. Die Temperatur der Luft muss also sinken, und während für absolut trockne Luft das Sinken des Thermometers um 1° C. ungefähr einem Aufsteigen um 100 m entspricht, verlangsamt sich bei feuchter Luft diese Temperaturabnahme bedeutend, einfach aus dem Grunde, weil mit dem Erreichen des Taupunktes die bisher

1) Nach Reimann, Das Luftmeer.

2) Die nachfolgenden Erörterungen über die Bewölkung lehnen sich zum Teil an die Werke Günther, Die Meteorologie und R. Abercromby, Das Wetter (deutsch von Pernter) an, zum Teil sind sie daraus entnommen.

3) Dass bei jeder Ausdehnung eines Gases Wärme verbraucht, also, vulgär gesagt, Kälte erzeugt wird, ist eine Thatsache, worauf sich die Methoden zur Darstellung künstlichen Eises aufbauen und worauf sich unter anderm auch das Lindesche Verfahren zur Darstellung flüssiger Luft gründet, das im letzten Kapitel des vorliegenden Werkes mit besprochen ist.

latent (gebunden) gewesene Wärme frei zu werden beginnt und der Herabsetzung der Temperatur entgegenarbeitet. Das entgegengesetzte Verhältnis tritt ein, wenn eine Luftmasse im Sinken begriffen ist; hier kann eine Kondensation von Wasserdämpfen nicht eintreten, während eine solche beim Aufsteigen eines Luftstromes sich besonders dann fühlbar macht, wenn eine Gebirgskette oder auch nur ein isolierter Berg von jenem getroffen werden. Ein solches Hindernis wirkt dann als Kondensator, und die Berghäupter umziehen sich mit der allen Gebirgsreisenden nur zu wohl bekannten Wolkendecke, an welche die vulgäre Wetterprognose ihre Wahrsprüche anzuknüpfen liebt. Aus dem Gesagten erhellt, dass die unterste Grenze jeder Wolke durch die Höhe bestimmt ist, bei der die aufsteigende Luft ihren vollen Sättigungszustand erreicht hat.

Die Höhe der Wolken ist sehr verschieden; die ungefähren Höhenlagen der verschiedenen Wolkenformen sind unten angeführt.

Die Wolkenformen tragen Benennungen, die von dem Engländer Luke Howard aufgestellt worden sind. Die Klassifikation der Wolkenformen ist übrigens ein unbefriedigendes Kapitel der Meteorologie, weil die Wolkenformen ausserordentlich wechsellern, und weil nicht überall dasselbe Wort für dieselbe Wolkenform gebraucht wird.

Für praktische Zwecke werden die Wolken in vier verschiedene Klassen eingeteilt, entsprechend den auffallendsten Unterschieden ihrer Form. Doch diese Klassen bedeuten nur eine Art Übereinkommen, denn in der Natur gehen alle in unmerklichen Zwischenstufen ineinander über. Die Hauptformen sind:

1. Cumulus. Alle Wolken, die ein gebirgiges, gebaltes, massiges Aussehen haben, sind entweder reine Haufenwolken, oder ihre Benennung muss das Wort „Haufen“ (Cumulus) in Verbindung mit einem anderen Namen enthalten.

Die reine Haufenwolke (Fig 4 rechts, mitten) entsteht an heiteren Tagen, insbesondere des Sommers und Herbstes, wo sich die Richtung und Geschwindigkeit des Windes in den verschiedenen Schichten der Atmosphäre ziemlich gleich bleibt.

2. Stratus. Alle Wolken, die wie eine dünne flache Schicht am Himmel liegen, sind entweder reine Schichtenwolken (Stratus), oder ihre Namen enthalten in der Zusammensetzung das Wort „Schichten“ (Stratus).

Die Schichtenwolke entsteht unter Verhältnissen, wie sie oben für die Haufenwolke angegeben sind, wenn aber die Richtung und Geschwindigkeit des Windes in den verschiedenen Schichten der Atmosphäre nicht so gleichbleibend ist; dann werden eben die

Wolkenformen streifenförmig auseinander gezogen. In Fig. 4 ist unten über dem Erdboden ein Stratus gelagert.

3. Cirrus. Alle Wolken, die einen büschelartigen, federförmigen oder lockenähnlichen Anblick bieten, sind entweder reine Federwolken (Cirrus), oder ihre Namen enthalten in der Zusammensetzung das Wort „Feder“ (Cirrus).

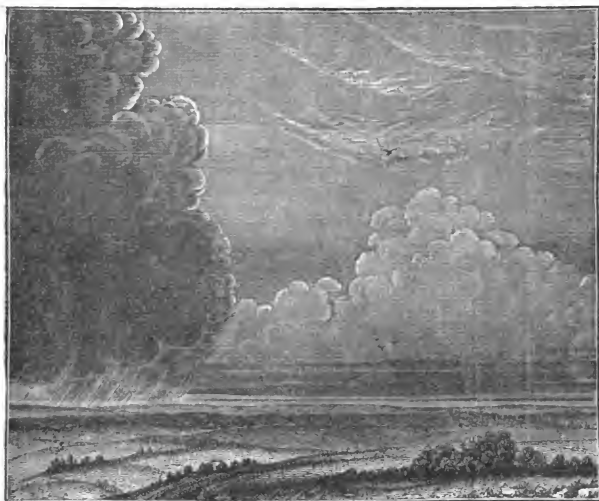


Fig. 4.

Je höher der wolkenbildende Luftstrom aufsteigt, um so mehr nimmt auch die Dichte und Konsistenz der Wolken ab, und wenn sie in diesem Zustande bis an den Umkehrpunkt der aufsteigenden Strömung gelangen, so zerreisst und zerfasert die Gegenströmung die Wolke in lauter feine verwaschene Fäden und Federn, die oft den ganzen Himmel mit einem durchsichtigen Schleier überdecken. So entstehen die Cirruswolken, die in Fig. 4 in der rechten oberen Ecke abgebildet sind.

4. Nimbus (Regenwolke). Jede Wolke, aus der Regen fällt, ist in irgend einer Weise eine Regenwolke (Nimbus). Es ist also

durch diesen Namen eine bestimmte Wolkenform eigentlich nicht angedeutet. Der gewöhnliche blauschwarze Nimbus ist in Fig. 4 auf der linken Seite eingezeichnet.

Zwischen den Hauptformen der Wolken giebt es die mannigfachen Übergänge — so mannigfach, dass sämtliche aufgestellten Bezeichnungen bei weitem nicht alle Schattierungen der Wolkenformen richtig wiedergeben.

Wenn aber auch recht geschulte Beobachter eine sehr grosse Zahl von Wolkenformen auseinander finden und richtig benennen können, so gilt dies keineswegs für die grosse Mehrzahl aller Forscher, ja sogar bei weitem nicht für alle Meteorologen von Fach. Es hat sich herausgestellt, dass man über 8 oder höchstens über 10 Namen von Wolkenformen nicht hinausgehen kann, wenn die praktische Verwendbarkeit gewahrt bleiben soll.

„Abgesehen¹⁾ davon, dass die allgemeine Klassifikation die Hauptarten der Wolkenformen festlegt, gestattet dieselbe auch eine rohe Höhenskala für die Wolken aufzustellen. So schweben in Wirklichkeit die Schichten- und Haufenwolken durchschnittlich am niedrigsten; die zusammengesetzten liegen in mittleren Höhen und am höchsten endlich die Federwolken. Die absolute Höhe lässt sich sowohl für eine bestimmte Jahreszeit als eine bestimmte Gegend für die einzelne Gattung nur innerhalb gewisser Grenzen angeben. Die Haufenwolke z. B. kann auf die geringe Höhe von etwa 600 m herabreichen und die Federwolke nicht höher liegen als 4000 m; anderseits können sich Haufenwolken bis zu einer Höhe von 8000 m auftürmen und Federwolken noch in Höhen von 17000 m vorkommen; doch können sich die letzteren niemals unterhalb der Haufenwolken bilden, welche absolute Höhe sie immer haben mögen.

Diese relativen Höhen bestimmen auch teilweise die Benennung. Ist eine Wolke sehr hoch, so müssen wir, um die Höhe anzuzeigen, die Bezeichnung Cirro (Feder) dem Worte anfügen²⁾, welche ihre Form angiebt, während uns die Verbindung mit „Cumulo“ (Haufen) auf eine niedrige Schicht verweisen wird. Das erste Wort in einem zusammengesetzten Namen giebt uns daher eine Vorstellung von der relativen Höhe; so würde z. B. Cirrocumulus (Federhaufenwolke) eine höhere Wolke bedeuten als Cumulocirrus.“

Kurz lässt sich Gestaltung und Höhe der vier Wolkengrundformen durchschnittlich, wie folgt, charakterisieren:

1) Nach Abercromby l. c.

2) Dies ist eigentlich ungenau ausgedrückt; treffender stünde statt „anfügen“ das Wort „voranstellen“.

1. Federwolke, Cirrus. Leichte federige Wolken in den höchsten Luftregionen (über 4000 m), aus Eisnadeln bestehend.
2. Haufenwolke, Cumulus. Geballte Formen in Höhen von 500—2000 m.
3. Schichtwolke, Stratus. Weithin gestreckte Wolkenformen, Bänke, meist horizontal gelagert.
4. Regenwolke, Nimbus. Ein Gemisch der ersteren, aber nur in Höhen bis 500 m und von grauer, blaugrauer bis blauschwarzer Farbe.

Von den überaus mannigfachen Wolkengestaltungen, die zwischen den Hauptformen liegen, können hier nur die wichtigsten berücksichtigt werden.

1. Cirrostratus, Federschichtwolke. Man versteht darunter eine dünne Wolkenschicht, die nicht gleichförmig ist wie der reine Stratus, sondern zusammengesetzt aus irgendwie verwickelten Cirrusfasern, dabei aber nicht aus gestreiften, gewölbten und gefleckten Wölkchen besteht. Zuweilen sind die Cirrusfasern verwoben und dann sieht die Wolke netzartig aus, wie ein gewebter Stoff; sie besitzt dann eine unbegrenzte Verschiedenartigkeit der Struktur.
2. Stratocirrus, Schichtfederwolke. Ist mehr kompakt in seiner Struktur als der Cirrostratus und bildet sich in niedrigen Schichten. Eine Form, die in unsern Breiten viel weniger häufig ist als in den Tropen.
3. Cirrocumulus, Federhaufenwolke. Man versteht darunter eine durchbrochene Wolkenschicht in grossen oder mittlern Höhen, deren Masse nicht aus Fasern besteht wie der Cirrostratus, sondern aus mehr oder weniger geballten oder gerollten Gebilden, die jedoch nichts von dem gebirgigen Aussehen des reinen Cumulus haben. Die gewöhnlich vorkommende Form des Cirrocumulus besteht aus geballten Wolken von flockigem Aussehen, die in den verschiedensten Sprachen unter den Namen „Wollballen“, „Schäfchen“, „Lämmerwolken“ oder ähnlicher Bezeichnungen allgemein bekannt sind. Eine Abart der Cirrocumuli sind die sogenannten Winterwolken, die sich während der kalten Jahreszeit über dem nördlichen Europa mit grosser Beständigkeit bilden. Die dünne Wolkenschicht liegt dann in einer mässigen Höhe und zeigt das Be-

streben, sich in lange, parallele Bänder¹⁾ schnell bewegter, flockiger Massen anzuordnen.

4. *Cumulo cirrus*, Haufenfederwolke, auch *Alto cumulus* genannt. Es ist dies eine mehr kompakte Form des *Cirrocumulus*, die in geringerer Höhe schwebt.
5. *Strato cumulus*, Schichthaufenwolke. Man versteht darunter eine grosse Masse Wolken, die eine Schicht bilden, welche nicht genügend gleichförmig, um *Stratus*, und nicht genügend geballt ist, um *Cumulus* genannt zu werden.
6. *Cumulo stratus*, Haufenschichtwolke. Steht dem *Strato cumulus* sehr nahe; gewöhnlich versteht man darunter eine Anhäufung mehr geballter Formen, die schichtenförmig gelagert sind.
7. *Nimbus*, Regenwolken. Der *Nimbus* ist schon bei den 4 einfachen *Howard'schen* Wolkenformen genannt. Dass er hier nochmals aufgeführt wird, hat seinen Grund darin, dass er — praktisch genommen — stets einer der zusammengesetzten Wolkenformen entspricht.

Es wurde ja schon erwähnt, dass der Name „*Nimbus*“ sich eigentlich gar nicht auf eine Form, sondern auf eine Funktion der Wolke bezieht, nämlich auf die, dass daraus Regen fällt.

Nach der Form kann man sagen, dass es zwei Sorten von *Nimbus* giebt, nämlich den *Cumulonimbus*, die gebirgige Haufenwolke, aus der heftiger Regenschauer niedergeht, und den reinen *Nimbus*, eine flache Wolke, die mehr schwerem *Strato cumulus* ähnlich ist. *Howard* definiert den *Nimbus* folgendermassen: „Eine Wolke oder ein System von Wolken, aus denen es regnet. Er ist eine horizontale Schichte, über welche der *Cirrus* sich ausdehnt, während der *Cumulus* seitwärts oder von unten eintritt.“

Die Ursache, warum *Nimbus* zu einer eigenen Klasse von Wolken gemacht wird, rührt von der Thatsache her, dass im Augenblicke, wo es zu regnen beginnt, eine plötzliche auffallende Veränderung im Anblicke der Oberfläche der Wolke auftritt, deren genaue Natur bisher noch unerklärt ist. Sehr charakteristisch ist die Schilderung, die *Ley* von diesen Veränderungen giebt; wir lassen sie daher wörtlich folgen:

„Am sommerlichen Himmel beginnt ein massiver *Cumulus*, einige Meilen vom Beobachter entfernt, sich zu bilden. Da die

1) Die Wolkenform nähert sich dann also dem *Cirrostratus* und *Cumulostratus*.

Atmosphäre bis zu einer Höhe von etwa 4000—5000 m nahezu ruhig ist, behält der Cumulus seine halbkugelige Form bei, und es türmt sich eine enorme Anhäufung von Wolkenmassen auf, deren Kubikinhalte nach oben einen Raum von einigen hundert englischen Meilen einnimmt, während die ausserordentliche Dunkelheit der Wolke darauf hindeutet, dass die Wassertröpfchen, aus denen sie besteht, ziemlich eng aneinander gedrückt sind. So lange eine solche Wolke die scharfen Linien ihrer oberen Teile und ihre allgemeine, gerundete Figur beibehält, fällt aus ihr kein Regen. Plötzlich bekommt aber der obere Scheitel der Wolke ein geglätteteres Aussehen, und Cirrusfasern strahlen seitlich von ihm aus. Diese Änderung tritt stets gleichzeitig ein mit dem Niederstürzen eines Regengusses aus der Wolke.

Die elektrische Ladung, die das Zusammenstossen der Tröpfchen der Wolke, solange diese kugelförmig blieben, verhinderte, wurde plötzlich in den oberen Teilen der Wolke vermindert, als Wolkenelemente zu Eisnadeln erstarrten, aus deren Kanten und Enden die Elektrizität sofort ausströmt¹⁾.

Die jetzt nur noch mässig geladenen Tröpfchen vereinigen sich und nehmen in ihrem schnelleren Falle die kleineren Tröpfchen, womit sie in Berührung kommen, auf.

Der fallende Regen und vielleicht noch rascher die durchbrechenden Ladungen bewirken ferner ein weiteres „Abzapfen“ der Elektrizität aus der Wolke, d. h. sie erniedrigen das Potential der Wolkenmasse, und der regenerierende Vorgang hält an, bis der ganze oder fast der ganze untere Teil der Wolken verschwunden ist. In diesem Augenblicke, wo nicht nur in den untern Schichten der Atmosphäre, sondern auch in den höhern nur geringe Bewegung besteht, ist die Eiswolke, die in den höhern Schichten zurückbleibt, ein echter Cirrus, dessen haarige und verflochtene Formen wahrscheinlich kleinen seitlichen Ungleichheiten des Druckes zu verdanken sind, die durch den Vorgang der Kondensation und des Gefrierens erzeugt werden. Ein so entstandener Cirrus mag nahezu unbeweglich mehr als 24 Stunden am Himmel hängen oder, was noch öfter eintritt, sehr langsam über Gegenden hinziehen, von denen aus der Regen, wodurch er hervorgebracht wurde, nicht zu sehen war.“

1) Die Anspielung auf die Entladung der Elektrizität im Augenblicke des Regenfalles bezieht sich auf die Thatsache, dass freie, statische Elektrizität bestrebt ist, die kleinen Kügelchen kondensierten Dampfes auseinander zu halten.

Ausser den genannten seien noch einige kleinere Wolkenformen erwähnt, weil sie für die Beurteilung des Wetters einige Bedeutung haben:

8. Cirrusnebel oder Cirrusschleier. Häufig wird der blaue Himmel zuerst weisslich und hierauf grau, worauf sanfter, meist anhaltender Regen herabrieselt. Ist der Himmel so, ohne Bildung einer eigentlichen Wolkenform, bezogen, so nennt man die Erscheinung Cirrusnebel oder Cirrusschleier. Hier hat die Bezeichnung „Cirrus“ nichts mit der Form zu thun, sondern deutet nur die grosse Höhe der Wolke an. Der Cirrusschleier schwebt ausnahmslos in einer grossen Höhe, und da er fast immer, wenn die Sonne oder der Mond durch ihn durchscheint, einen Ring zeigt, so müssen wir annehmen, dass er aus gefrorenen Teilchen oder kristallischem Eisnebel besteht. Nachdem er sich gebildet hat, ist oft eine Schicht von Cirrostratus zu sehen, die unter ihm entsteht.

9. Wölkchen, Wolkenfetzen. Unterhalb solcher Wolkenmassen, die sich zum regnen anschicken, beobachtet man sehr häufig abgetrennte kleine Wolken in hastiger Bewegung, für die die Namen Wölkchen, leichte Wölkchen, Fractocumulus vorgeschlagen sind. Sind sie nicht formlos, sondern zerfetzt, so bezeichnet man sie wegen ihres ausgefransten Aussehens als Wolkenfetzen.

Die Bildung dieser Formen ist wohl so zu erklären, dass bei aufgewühltem Wetter infolge der unregelmässigen Art des Luftstromes kleine Wolkenmassen, ähnlich den gewöhnlichen zerfransten Wolken, entstehen. Ihre scheinbar rasche Bewegung dürfte daher kommen, dass sie der Erdoberfläche näher liegen als die übrigen Wolken, die sie begleiten.

10. Wolkenkrausen. An der Stirnseite gewisser Arten von Böen und Gewitterstürmen sieht man zuweilen eine lange schmale Rolle einer schwarzen Wolke (Wolkenkrause), die sich reisend schnell mit ihrer Breitseite vorwärts bewegt.

In viel weniger ausgesprochener Form sind schwarze Wolkenkrausen an der Stirnseite gewisser leichter, regenbringender Wolkenmassen sehr gewöhnlich.

Es ist schon Seite 66 erörtert, dass sich die Höhe der Wolkenformen nicht scharf bestimmen lässt, zumal da diese Höhe eben sehr wechselt. Wir lassen trotzdem hier noch eine Tabelle folgen, die die durchschnittlichen Wolkenhöhen für Upsala nach sehr sorgfältigen und ausgedehnten Beobachtungen wiedergibt. Selbstverständlich lassen sich direkte Schlüsse auf andere Orte aus dieser Tabelle ohne weiteres nicht ziehen.

Wolkenarten

und mittlere Höhen der hauptsächlichlichen Arten für Upsala
im Sommer.

Hohe	{	<i>Cirrus</i>	8200 m
		Cirrusstreifen	
		Cirrussehleier	
	{	<i>Cirrostratus</i>	8200 m
		<i>Cirrocumulus</i>	6100 m
Mittlere	{	<i>Altostratus</i>	4600 m
		<i>Alto cumulus</i>	3600 m
		Kugeligcr Altocumulus Makreliger Himmel ¹⁾	
Niedere	{	<i>Stratocumulus</i>	1800 m
		<i>Cumulus</i>	Basis: 1200 m
		Getürmter oder Liniencumulus Kugeligcr Cumulus	
		<i>Cumulonimbus</i>	Basis: 1200 m
		Cumulostratus	
		<i>Nimbus</i>	1400 m
		<i>Stratus</i>	600 m
		Wolken, Wolkenfetzen Wolkenkrausen.	

In dem von den Professoren Hildebrandson, Köppen und Neumayer auf Grund des internationalen Übereinkommens herausgegebenen „Wolkenatlas“ finden sich folgende Angaben über die Wolkenhöhen:

- A. *Höchste Wolken*; im Mittel 9000 m.
 - a) *Cirrus*.
 - b) *Cirrostratus*.
- B. *Mittelhohe Wolken*; 3000—7000m.
 - a) { *Cirrocumulus*.
 - { *Alto cumulus* oder *Cumulo cirrus*.
 - b) *Altostratus* oder *Strato cirrus*.
- C. *Niedrige Wolken*; 1000—2000 m.
 - a) *Stratocumulus*.
 - b) *Nimbus*.

1) Der sogenannte „makrelige Himmel“ ist eine seltene Art des *Cirrocumulus*. Er besteht aus rundlichen, isolierten Wölkchen ohne jedes flockige Gewebe.

D. *Wolken des aufsteigenden Luftstromes.*

- a) Cumulus, Gipfel 1800, Basis 1400 m.
 b) Cumulonimbus; Gipfel 3000 — 5000, Basis 1400 m.

E. *Gehobene Nebel*; unterhalb 1000 m.
Stratus.

Um die Grösse der Bewölkung zu bestimmen, zählt man in Gedanken sämtliche Wolken und Wölkchen zusammen, die für einen Beobachter sichtbar sind, setzt die Gesamtoberfläche des überhaupt vom Beobachtungsstandpunkte aus sichtbaren Himmelsgewölbes = 10 und schätzt ab, welche Zahl dann ungefähr dem Flächeninhalte der gesamten Wolkenmassen entspricht. Fehlt es ganz an Wolken, so ist die Bewölkungsgrösse = 0; ist der ganze Himmel bezogen, so ist die Bewölkungsgrösse = 10; ist ungefähr die Hälfte des sichtbaren Himmels bewölkt, so ist die Bewölkungsgrösse = 5, u. s. w.

Von Moh n ist eine Skala aufgestellt worden, die in folgender Weise die 10 Bewölkungsgrade charakterisiert:

Moh nsche Bewölkungsskala.

- 1 = ganz oder fast wolkenlos.
 2 = sehr leicht bewölkt.
 3 = leicht bewölkt.
 4 = beinahe halbbewölkt.
 5 = halbklar, halbbewölkt.
 6 = ziemlich umzogen.
 7 = ziemlich stark bewölkt.
 8 = stark bewölkt.
 9 = fast völlig umdüstert.
 10 = völlig bedeckt.

Viele Wetterkarten, z. B. die der deutschen Seewarte, geben die Stärke der Bewölkung durch verschieden grosse Ausfüllung von Kreisen an, also

- wolkenlos = 0 ● zu dreiviertel bedeckt = 7
 ◐ halb bedeckt = 5 ● ganz bedeckt = 10.

Für die Wolkenformen benutzt man Abkürzungen, und zwar Ci = Cirrus, Cu = Cumulus, St = Stratus, N = Nimbus, Ci Cu = Cirrocumulus, Cu N = Cumulonimbus, St Ci = Stratocirrus, Ci St = Cirrostratus u. s. w.

5. Atmosphärische Niederschläge.

Wenn auch die atmosphärischen Niederschläge teils flüssig wie Tau und Regen, teils fest wie Schnee und Hagel sind, so lässt sich ihre Behandlung in einem Werke über atmosphärische Luft doch nicht umgehen. Denn wollte man sagen, dass diese flüssigen und festen Ausscheidungen mit der Luft als gasförmigem Körper nichts zu thun haben, so dürften ebensowenig der Luftstaub und die Mikroorganismen der Luft wie der Nebel und die Wolken Berücksichtigung finden. Wollte man aber anführen, dass die atmosphärischen Niederschläge erst dann den durch ihren Namen angedeuteten Charakter annehmen, wenn sie niedergeschlagen sind, wenn sie also nicht mehr Bestandteile der Atmosphäre bilden, so wäre dagegen einzuwenden, dass ein Überblick über die Meteorologie dann überhaupt nicht in ein Luftwerk hineingehörte, weil die Meteorologie ohne Behandlung der Niederschläge undenkbar ist, und weil die praktische Meteorologie überhaupt fast nur in Rücksicht auf die Niederschläge getübt wird. Eine solche Folgerung wäre demnach an sich ein nonsens. Auch sind gerade für den Menschen nicht immer die „niedergeschlagenen“ Niederschläge von Wichtigkeit, sondern oftmals vielmehr das Moment des Ausfallens selbst. Der Hagel übt z. B. seine zerstörenden Wirkungen im Augenblick seines Niederfallens, während die im Hagel ausgeschiedene Wassermasse kaum je als wichtiger (befeuchtender) Faktor in Frage kommt.

Schon Seite 61 ist gesagt, dass zu den atmosphärischen Niederschlägen im eigentlichen, engeren Sinne der Tau, der Reif, der Regen, der Schnee, die Graupeln und der Hagel gehören.

Tau.

Über den Tau ist das nötige an der eben genannten Stelle ebenfalls erwähnt, sodass darauf verwiesen werden kann. Der Tau ist eben dieselbe Erscheinung wie das „Beschlagen“ einer kalten Wasserflasche und einer kalten Fensterscheibe im Winter. Wind verhindert die Taubildung; er führt immer neue, wärmere Luft herbei, die den Körpern die durch Ausstrahlung verlorene Wärme ersetzt, sodass sie nicht bis auf den Taupunkt erkalten. Den Pflanzen nützt der Tau nicht nur durch die Erfrischung, er schützt sie auch gegen die ersten Sonnenstrahlen, die, ehe nach der kühlen Nacht die Saftzirkulation in der Pflanze begonnen hat, schädlich wirken würden.

Reif.

Reif ist nichts anders als Tau. Sinkt die Temperatur der Gegenstände an der Erdoberfläche durch die Wärmestrahlung bis unter den Gefrierpunkt, so nimmt der sich verdichtende Wasserdampf nicht die Gestalt von kleinen Tropfen, sondern diejenige feiner Eisnadeln an und verwandelt sich in Reif.

Im engsten Sinne umgreift man unter der Bezeichnung der atmosphärischen Niederschläge nur Schnee, Regen, Graupeln und Hagel.

Regen.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe in der Wolke immer weiter fortschreitet, so werden die Wassertröpfchen grösser und zahlreicher. Die kleinen Tröpfchen des „Rieselns“, die wir aus einer sehr niedrig schwebenden Wolke erhalten, oder dann, wenn wir auf einem Berge mitten in der Regenwolke stehen, vergrössern sich auf ihrem Wege abwärts durch Vereinigung mit andern Tröpfchen und durch Aufnahme von Wasserdampf aus den untern Schichten der Atmosphäre. So werden die Wassertröpfchen der Wolken grösser und zahlreicher; sie fliessen zusammen und bilden grössere Tropfen, die als Regen herabfallen. Nicht die Wolke allein regnet, sondern die ganze Luftsäule zwischen ihr und dem Boden.

Unter Umständen können aber die kleinen fallenden Regentropfchen in den untern, relativ trockneren, wärmeren Luftschichten auch wieder aufgelöst werden. Dann sieht man von einer fern hinziehenden Wolke graue Regenstreifen herunterhängen, die die Erde nicht erreichen.

Der meiste und längere Zeit anhaltende Regen wird in unsern Breiten durch den Südwestwind hervorgebracht. In einem Drittel aller Fälle regnet es, während der Wind aus Südwesten kommt. Dieser Wind bringt uns in der Regel dampferfüllte leichtere Luft, die das Barometer zum Sinken bringt; Regen tritt ein, weil diese grossen Dampfmassen der Atmosphäre emporsteigen, sich abkühlen und anhaltend verdichten. In der Regel ist der vom Südwest- und vom Westwind gebrachte Regen nur mässig stark, hält aber längere Zeit an; man bezeichnet ihn als Landregen.

Selten nur regnet es bei Ost- und bei Nordostwinden; unter 9 Fällen, in denen diese Winde wehen, regnet es nur in einem Falle; auch dauern die so gebrachten Regen meist nur kurze Zeit an, so dass bald wieder heiteres Wetter eintritt. Die nördlichen

Winde führen kalte und trocknere Luft vom Nordpol zu uns; sie schlagen zuerst die in der wärmeren Luft bei uns noch angehäuften Wasserdämpfe in Form eines kurzen Regens nieder und bringen dann trockne Witterung für den Fall, dass der Nordostwind anhält.

Der durch das Eindringen des Nordwestwindes in ein Gebiet niedrigen Luftdruckes veranlasste Regen geht meist in grossen Tropfen und noch mehr an pflanzlichen Organismen ab. Ausserordentlich bedeutsam ist die Verteilung des Regens über das Jahr und über die Jahreszeit. Dieselbe Regenmenge, die, ziemlich gleichmässig über das ganze Jahr verteilt, der Vegetation Segen bringt, äussert eine viel weniger günstige Wirkung, wenn sie in wenigen, dadurch sehr nassen Monaten fällt, denen eine lange Zeit der Dürre gegenübersteht.

Nicht allein die Menge des fallenden Regens, sondern auch dessen Verteilung über die Jahreszeiten ist von grosser Wichtigkeit. Von dem Mass der Wärme und der atmosphärischen Niederschläge hängt die Wohnbarkeit eines Gebietes, hängt sein Reichtum an tierischen und noch mehr an pflanzlichen Organismen ab. Ausserordentlich bedeutsam ist die Verteilung des Regens über das Jahr und über die Jahreszeit. Dieselbe Regenmenge, die, ziemlich gleichmässig über das ganze Jahr verteilt, der Vegetation Segen bringt, äussert eine viel weniger günstige Wirkung, wenn sie in wenigen, dadurch sehr nassen Monaten fällt, denen eine lange Zeit der Dürre gegenübersteht.

Fast alle bisherigen Aufzeichnungen über die Regenmenge schliessen in den Faktor „Regen“ auch die übrigen eigentlichen Niederschläge, d. h. Schnee, Graupeln und Hagel, ein, und zwar ist für diese summarische Berechnung die Erwägung massgebend, dass Schnee, Graupeln und Hagel doch über kurz oder lang schmelzen, und dass ihre Einwirkung auf die Erdoberfläche mit der des flüssigen Regenwassers zusammenfällt ¹⁾.

Die Regenmenge mit Einrechnung des geschmolzenen Schnees, des Hagels und der Graupeln wird direkt gemessen durch Auffangen in einem Gefäss, dem Regenmesser, wie dies im Abschnitt „Physikalische Untersuchung der Luft“ genauer beschrieben ist. Die im Regenmesser aufgefangenen Niederschlagsmengen werden aber nicht in ccm, sondern in mm Regenhöhe angegeben, d. h. es wird die Höhe der Wasserschicht berechnet, die durch den 24stündigen Niederschlag auf der Erdoberfläche gebildet werden würde, falls kein Abfließen, Einsickern oder Verdunsten stattfände.

Sehr einflussreich sind auf die jährliche Regenmenge Gebirgszüge, die den vom Meere kommenden feuchten äquatorialen Luftstrom am ungestörten Weiterwandern hindern und ihn zum Aufsteigen und

1) Wir werden unten bei der Betrachtung des Schnees darauf hinzuweisen haben, dass neuerdings diese Ansicht von der Gleichwertigkeit aller atmosphärischen Niederschläge stark angegriffen wird.

Verdichten seiner Dampfmassen zwingen; so befördern der Himalaya, die europäischen Alpen, der Schwarzwald u. s. w. die Regenmenge. Abgesehen von der Höhenlage und benachbarten Gebirgen sind auch ausgedehnte Waldungen und andere lokale Momente von grossem Einfluss auf die Niederschlagsmengen.

Die grössten Regenmengen überhaupt fallen innerhalb der tropischen Zone. Dort führt der aufsteigende warme Luftstrom ungeheure Mengen von Wasserdampf in die höheren kälteren Luftschichten und verursacht plötzliche und sehr reichliche Kondensation. Wir geben über die jährlichen Regenmengen folgende Tabelle nach Flügg e (l. c.) wieder:

Regenhöhen.

Cherrapoonjee (Ostindien)	12 500 mm
Maranhao (Brasilien)	7 100 "
Sierra Leone	4 800 "
Stye Pass (Schottland)	4 182 "
St. Maria (Alpen)	2 483 "
Chambery (Savoyen)	1 650 "
Baden (Schwarzwald)	1 444 "
Klausthal (Harz)	1 427 "
Norddeutsche Tiefebene	613 "
Würzburg	401 "
Breslau	400 "
Wir fügen dieser Tabelle noch hinzu	
Berlin	590 "
München	810 "
Frankfurt a/M.	620 "
Mecklenburg	400 "

Ausser der Regenmenge wird die Zahl der Regen- und Schneetage und die Verteilung derselben auf die Jahreszeit registriert. Die Zahl der Regentage nimmt zu mit der Erhebung über das Meeresniveau, ferner in Europa von Süden nach Norden und ausserdem mit der Annäherung ans Meer.

„Nach ¹⁾ der Verteilung des Regens über das Jahr hin sind zu unterscheiden Zonen mit periodischem Regenfall, die Zone der periodischen Winde, Passate und Monsune; Zonen mit gleichmässig verteiltem Regenfall jenseits der Passate im Gebiete der regellos wehenden Winde.

Der Calmgürtel 5° nördlich und südlich vom Äquator hat reichliche tägliche Regengüsse infolge des aufsteigenden Stromes.

1) Nach Reimann l. c.

Nordwärts und südwärts folgt je ein Gürtel mit zwei durch eine trockene Zeit getrennten Regenzeiten, welche eintreten, wenn die Sonne auf ihrem Wege zum nördlichen und südlichen Wendekreise durch den Zenith geht, so in $5-15^\circ$ der Breite. Einfache Regenzeit, wenn die Sonne im Zenith oder demselben nahe steht, zwischen 15° und 28° der Breite.

Die subtropische Zone von $28-40^\circ$ hat Winterregen neben regenarmen Sommern, so die Azoren, Kanaren, ein Teil des nördlichen Afrikas.

Das südliche Europa erhält seine grösste Regenmenge im Frühjahr und Herbst; die höheren Breiten im Gebiete des Wechsels zwischen Äquatorial- und Polarstrom haben vorwiegend Sommerregen.

Von der Sahara zieht sich über einen Teil Ägyptens, Arabiens, Irans, über die Wüste Gobi eine regenlose Zone, in welcher zuweilen mehrere Jahre hindurch kein Tropfen Regen fällt. Ein regenloser Streifen zieht an der Westküste Südamerikas von $5-30^\circ$ südlicher Breite und über einen Teil von Mexiko zwischen 20 und 30° nördlicher Breite.“ —

In Deutschland ist im ganzen der Sommerregen, in Westfrankreich und England der Herbstregen vorherrschend. Durchschnittlich beobachtet man im mittleren Europa jährlich 146 Regentage. Von den bei uns fallenden Niederschlägen wird etwa $\frac{1}{8}$ durch die fliessenden Gewässer dem Meere zugeführt; $\frac{7}{8}$ werden von dem Erdboden aufgenommen.

Schnee.

Liegt der Schlüssel zur Erklärung von Regen und Schnee darin, dass Nebel und Wolken Ansammlungen von Wasserdampf sind, so sind damit auch gleichzeitig die besonderen Umstände festgelegt, unter denen sich die eine oder die andere dieser beiden Niederschlagsformen bildet.

Regen und Schnee entstehen dadurch, dass der in einer Wolke vorhandene Wasserdampf sich schnell und plötzlich verdichtet. Geht diese Verdichtung bei einer Temperatur über 0° vor sich, so erscheint das ausgeschiedene Wasser in tropfbar flüssigem Zustande, also als Regen; kühlt sich die Temperatur aber bei der Verdichtung bis unter den Gefrierpunkt ab, so erfolgt die Ausscheidung im gefrorenen, im festen Zustande — als Schnee.

Die Form der fallenden Regentropfen bietet im allgemeinen — abgesehen vielleicht von hier und da vorkommender ungewöhnlicher Grösse — nichts Besonderes, jedenfalls nichts, was im allgemeinen

Aufmerksamkeit erregen könnte. Anders ist es aber mit dem Schnee.

Die Schneeflocken setzen sich aus unzähligen Eiskristallen, oder richtiger gesagt, aus den besonderen typischen Schneekristallen zusammen. Die Schneekristalle ihrerseits sind aus feinen Eisnadelchen gebildet, die sich in regelmässiger Form zusammenfügen. Unter den Formen der Schneekristalle herrscht eine ausserordentliche Mannigfaltigkeit, allen diesen Figuren liegt aber die Form eines sechsstrahligen Sterns zu Grunde. Die durch Aneinanderlagerung der Schneesterne entstehenden Schneeflocken sind keine regelmässigen Bildungen, sondern sie können mannigfache Gestalt und Grösse annehmen. Bei sehr strenger Kälte kommt es unter Umständen dazu, dass einzelne Eisnadeln und Schneesterne herabfallen.

Fällt Schnee aus beträchtlicher Höhe und gelangt er während des Fallens unten in warme Luftschichten, so schmelzen die Flocken, und es regnet an den tiefer liegenden Orten, während es auf den Höhen schneit.

Viele Landstriche unserer Erde sind ohne Unterbrechung mit Schnee bedeckt. Das Verhältnis des Schnees zu den Gesamtniederschlägen nimmt in gleichem Masse zu, wie man sich den Polen nähert, und es wächst weiter in demselben Grade, wie man sich über den Meeresspiegel erhebt; so sehen wir Schnee auf hohen Bergen zu einer Jahreszeit, die uns im Thal grünende Fluren darbietet.

Von dem Schnee, der während des Winters fällt, bringt die Sonne in den milderen Jahreszeiten den grössten Teil zum Schmelzen. Aber es muss eine Grenze geben, wo die Wärmeenergie der Sonne nicht mehr zureicht, den Wärmeverlust, der mit dem Auftauen des gefallenen Schnees verknüpft ist, zu decken, wo es also der Sonne im Frühling, Sommer und Herbst nicht mehr gelingt, den im vorhergehenden Winter gefallenen Schnee vollständig zu schmelzen. Je weiter man über diese Grenze hinaustritt, um so mehr überschüssigen Schnee findet man, d. h. um so mehr Schnee, der ein ganzes Jahr der Sonnenwärme widersteht und im zweiten Winter mit einer neuen Schneelage überdeckt wird.

Verbindet man alle Punkte am Abhange einer Gebirgskette, an denen eben schon Schnee von einem zum andern Winter liegen bleibt, durch einen Linienzug miteinander, so hat man die sogenannte Schneegrenze. Diese liegt natürlich nach den Polen hin, also unter hohen Breitengraden, bei geringer Höhe, und bei um so geringerer, je näher man den Polen kommt. Nach dem Äquator zu, also unter niedrigen Breitengraden, beginnt die Schneegrenze erst in sehr beträchtlicher Höhe.

Der Begriff der Schneegrenze ist übrigens nicht genau defi-

niert, denn es kommen auch unter der Grenze des ewigen Schnees Orte vor, an denen der Schnee niemals wegschmilzt, und anderseits finden sich auch oberhalb der Schneegrenze im Sommer eisfreie Stellen. Es sind diese Abweichungen durch rein örtliche Einflüsse bedingt; die Gründe liegen in abnormer Bodenwärme, in vorgelagerten Felswänden, die den Zutritt kalter Winde hindern, und umgekehrt im Fehlen solches Schutzes, in einer ausgesprochen freien (ungedeckten) Lage u. s. w.

Graupeln.

Die Graupeln sind runde, weisse und undurchsichtige Körner, die stets unter Erbsengrösse stehen. Man hat sie als feste, geballte Schneekörner aufzufassen; sie fallen gewöhnlich vor dem Anfang und kurz nach dem Ende des Winters bei schnellem Wechsel der Temperatur und heftigen Bewegungen der Atmosphäre. In diesen Jahreszeiten, also am Ende des Herbstes und anderseits im März und April, sind die unteren Luftschichten erheblich wärmer als die darüber befindlichen. Die fallenden Schneeflocken schmelzen an ihrer Oberfläche, werden durch die (als Voraussetzung des Graupelfalls genannten) heftigen Winde zusammengetrieben und bilden die kleinen Schneekugeln, die wir Graupeln nennen; von Gewittern ist der Graupelfall nicht begleitet. Grössere Graupeln heissen Schlossen.

Hagel.

Der Hagel besteht aus gerundeten, meist etwas länglichen Eiskörnern von der Grösse einer Erbse bis zu der einer Hasel- und Wallnuss. Dabei ist jedes Hagelkorn aus einem undurchsichtigen, runden, weissen Graupelkern und einer darüber liegenden durchsichtigen Eisrinde gebildet. Die Form der Hagelkörner ist übrigens sehr mannigfach; man hat pyramidenartige, viereckige, pilzförmige und scheibenförmige Hagelkörper fallen sehen.

Der Hagel ist auf den Sommer beschränkt; die Hagelwolken sehen aschgrau und teilweise rötlich aus; ihre am tiefsten herabhängenden Teile verengen sich häufig trichterförmig, und in der Wolke hat man eine heftige Wirbelbewegung beobachtet. Der Hagelfall wird von Blitz und Donner begleitet; er erstreckt sich über einen langen, schmalen Landstrich und hält nur wenige Minuten an. Die Hagelwolke weicht von der gewöhnlichen Gewitterwolke darin ab, dass an dem Nimbus haken- oder zungenförmige Fortsätze von weisslichem Glanze hervortreten.

Die Art der Bildung des Hagels hat den Forschern schon viel zu denken gegeben, aber man ist bisher zu einer sicheren Erklärung nicht gelangt. Vor allem muss festgehalten werden, dass von Hagel im eigentlichen, engern Sinne (zur Unterscheidung von Graupeln) erst dann gesprochen werden darf, wenn die niederfallenden Körner zum überwiegenden Teil aus Eis (Rinde) und nur zum kleinen Teile aus Schnee (Kern) bestehen; auch kommt beim Hagel die rein kugelige Form, wie sie den Graupeln ganz gewöhnlich ist, nur höchst selten vor.

In der That sieht man, dass die Hagelbildung manches räthelhafte in sich birgt: Die Hagelwolken ziehen vorwiegend in niederen Luftschichten dahin. Sie bilden sich mitten im Sommer; die Hagelwolke ist also von Luftmassen umgeben, die im allgemeinen eine viel zu hohe Temperatur besitzen, als dass sie Wasser schnell in Eis verwandeln könnten. Wenn also auch die absolute Feuchtigkeit der Atmosphäre im Sommer unter Umständen die ausserordentlich grossen Wassermengen erklärlich macht, die ein selbst kurz andauernder Hagel auf die Erde wirft, so bleiben doch noch die Fragen: Woher die Kälte, die die Eisbildung hervorbringt und in der Luft Körner von solcher Grösse schafft? Wie können sich die Hagelkörner während der Bildung so lange in der Luft halten, bis sie die ganz bedeutende Grösse erreicht haben? —

Hann und Reye geben folgende Erklärung für die Hagelbildung:

„1. Wasser kann 5—10° C. unter Null erkalten, ohne zu gefrieren. Wird es nun erschüttert, oder wird irgend ein fester Körper, z. B. ein Eisstückchen hineingeworfen, so erstarrt die ganze Wassermasse wie mit einem Schlage. So ist es möglich, dass auch die Bläschen und Tröpfchen, woraus die Wolken bestehen, weit unter Null erkalten und doch flüssig bleiben.

2. Die höheren Luftschichten haben selbst in unseren heissesten Monaten eine sehr niedere Temperatur.

3. Nicht jede Wolke mit unter Null erkalteten Tröpfchen schüttet aber Hagel aus. Dazu gehört eine besondere Art der Bildung der Wolken durch einen aufsteigenden Luftstrom neben einem aus höheren Regionen herabstürzenden kalten Strome.

4. Ein rasch aufsteigender Luftstrom entsteht nicht nur überhaupt durch Erwärmung einer Luftsäule, sondern auch dadurch, dass die Luftsäule in labilem (unsicherem) Gleichgewichte ist.

5. Das Aufsteigen des Stromes wird ausserdem gefördert durch den Dampfgehalt, nämlich durch dessen bei der Verdichtung frei werdenden Wärme.

6. Die Begegnung zwischen dem aufsteigenden warmen und

absteigenden kalten Ströme, das seitliche Hereinbrechen kalter Ströme erzeugt eine wirbelnde Bewegung des aufsteigenden Stromes.

7. Es bildet sich über und um den Wirbel eine dichte Wolke, die unten aus flüssigen, aber unter den Gefrierpunkt erkalteten Wasserteilchen, oben aus Eisnadeln besteht. Letztere werden von der stürmisch bewegten Luft zu Graupelkörnern geballt: Sie fallen durch die untern Schichten, durch die unter den Gefrierpunkt abgekühlten Wasserteilchen herunter und erzeugen eine massenhafte Eisbildung. Die überkalteten Wasserteilchen legen sich gefrierend um das Graupelkorn, das den Kern des Hagelkorns bildet.

8. Die Bildung des Hagelkorns selbst ist also rein momentan. Es fällt herunter, sobald es durch die Centrifugalkraft über den Bereich des Wirbels hinausgeschleudert wird.

9. Bei der Eisbildung der Hagelkörner wird Wärme frei, die dem überkalteten Zustande der Wasserteile ein Ende macht. Der Hagelfall hört auf und geht in einen Gewitterregen über.

10. Erstreckt sich jener Zustand des labilen Gleichgewichts der Atmosphäre über eine längere Strecke hin, so zieht nicht eine und dieselbe, sondern eine immer neu sich bildende Hagelwolke über weite Strecken, und zwar in der Richtung, in welcher der Gegendruck am schwächsten ist, d. h. in der Richtung, in welcher die Verdichtung der Wasserdämpfe erfolgt, ähnlich dem Fortschreiten des barometrischen Minimums.

11. Da jede starke Konzentration viel Elektrizität entwickelt, so zieht der Hagel ganz gewöhnlich in Begleitung eines Gewitters. —

Vor einem Hagelwetter herrscht gewöhnlich Windstille; es ist schwül und eine grosse Menge Wasserdampf vorhanden. So werden die untersten Luftschichten ungewöhnlich warm, ausgedehnt und leicht, während die darüber befindlichen Schichten schwerer sind. Dieser widernatürliche, unsichere (labile) Zustand kann bei Windstille einige Zeit bestehen bleiben. Dann aber bewirkt der geringste Luftzug, dass plötzlich die unteren leichten und warmen Luftschichten mit grosser Geschwindigkeit zu beträchtlichen Höhen emporsteigen. So entsteht unter diesem emporschliessenden Luftstrome ein luftverdünnter Raum; andere Luftmassen strömen von allen Seiten in diesen hinein und werden mit nach oben gerissen; die Luftströmungen aber, die nicht den Mittelpunkt der aufsteigenden Luftsäule treffen, veranlassen eine Wirbelbewegung, einen räumlich beschränkten Wirbelsturm. Je mehr die feuchten Luftmassen in die Höhe geführt und abgekühlt werden, desto schneller und mehr Wasserdampf wird verdichtet. Es bilden sich Wolken, und diese geben, wie in dem späteren Kapitel über die elektrischen Erscheinungen der Atmo-

sphäre auseinandergesetzt ist, zu Gewittererscheinungen Anlass. Die Wasserteilchen der niedrigeren Wolken-schichten sind flüssig; während aber die noch höher steigenden Luftmassen in Räume gelangen, deren Temperatur ziemlich tief unter dem Gefrierpunkte liegt, bildet sich oben eine Wolken-schicht, die aus Eisnadeln oder Schneeteilchen besteht. Der Wirbelwind treibt diese gegeneinander und ballt sie zu Graupelkörnern zusammen, die herabfallen. Die dicke Wolken-schicht nun, durch welche die Graupelkörner fallen, besteht aus überkalteten Wasserteilchen, die bei dem Fall plötzlich gefrieren und sich als Eisschicht um den Graupelkern legen.

6. Luftströmungen.

Die Bewegungsvorgänge in der Atmosphäre sind direkt vom Luftdruck abhängig, oder richtiger gesagt, von den Schwankungen des Luftdrucks.

Absolut ruhige Luft ist sehr selten und kommt in unsern Klimaten überhaupt kaum vor. Fast immer sind horizontale oder sich der horizontalen Richtung nähernde Luftströmungen vorhanden; man nennt sie Winde.

Seite 47 ist ausgeführt, dass Wärme und Feuchtigkeit die beiden Faktoren sind, die die Änderungen des Luftdrucks nach sich ziehen. Hiermit ist gleichzeitig gesagt, dass Wärme und Feuchtigkeit die ersten Ursachen der horizontal gerichteten Strömungen, der Winde sind.

Wird irgend eine Stelle der Erdoberfläche erwärmt, so geht diese Wärme teilweise auf diejenige Luftschicht über, die der erwärmten Bodenstelle unmittelbar anliegt. Diese Luftschicht „lockert sich auf“; die durch Leitung auf die unterste Luftschicht übertragene Wärme pflanzt sich nach und nach weiter auf alle darüber liegenden Luftschichten fort. So dehnt sich das ganze Luftstück über der erwärmten Bodenfläche aus; es wird verdünnt, d. h. leichter und steigt in die Höhe — der Luftdruck sinkt.

An einem andern Ort kühlt sich, wie angenommen sein mag, eine Bodenstelle ab. Hierbei werden die untersten Luftschichten kälter; sie ziehen sich zusammen, werden also schwerer. Die über der kälteren Gegend lagernde Luftsäule wird kürzer; aber sogleich strömen in der Höhe aus den weniger abgekühlten Gegenden Luftmassen herbei und füllen die Einsenkung aus. So wird die ganze, über der abgekühlten Gegend lagernde Luftmenge vermehrt — der Luftdruck steigt.

Da Wasserdampf leichter ist wie Luft (vgl. Seite 47), so ist auch wasserdampfreiche Luft leichter als wasserdampfarme. Der

Luftdruck sinkt also mit steigender absoluter Feuchtigkeit, während er zunimmt, wenn die absolute Feuchtigkeit geringer wird.

Es ist also zu wiederholen: Der Luftdruck (das Barometer) steigt, wenn die Atmosphäre kälter und wenn sie trockner wird. Der Luftdruck (das Barometer) fällt, wenn die Atmosphäre wärmer und wenn sie feuchter wird.

Wenn vorhin gesagt wurde, dass die Erwärmung eines Bodenstückes ein Aufsteigen der darüber lagernden Luftsäule bewirkt, so ist daraus zu folgern, dass dicht über der erwärmten Stelle der Erdoberfläche ein luftverdünnter Raum entstehen muss, weil eben die Luftmasse mehr in die Höhe gestiegen ist. Das Vorhandensein des Luftdrucks an sich bewirkt aber, dass sofort wieder Luft nach derartig verdünnten Räumen hinströmt — es entsteht dicht über der Erde eine Luftströmung, die sich nach der erwärmten Bodenstelle hinbewegt.

Das umgekehrte wird stattfinden an Orten, wo sich die Oberfläche abkühlt. Zieht sich hier eine Luftsäule am Erdboden zusammen und drücken von oben her nachströmende weitere Luftmengen darauf, so hat nach den Gesetzen von der vollkommenen Elastizität der Gase die unmittelbar über dem abgekühlten Bodenstück lagernde Luftmasse das Bestreben sich auszudehnen — es entsteht dicht über der Erde eine Luftströmung, die sich von der abgekühlten Bodenstelle wegbewegt.

Was hier zuletzt für die Erwärmung und Abkühlung von Luftsäulen gesagt ist, gilt naturgemäss nach den vorher gemachten Angaben für den Luftdruck im allgemeinen, und so gilt das hochwichtige Gesetz:

Ausnahmslos strömt die Luft von Orten, die höheren Luftdruck haben, nach den Orten mit niedrigerem Luftdruck hin.

Wäre der Luftdruck in derselben Höhe über der Erde überall gleichgross, so würde Windstille herrschen. Der Wind entsteht durch Verschiedenheit des Luftdrucks an verschiedenen Orten.

Um Unklarheit zu vermeiden, sei bemerkt, dass gleichzeitig auch ein entgegengesetzter Luftstrom herrscht: Steigt bei niedrigerem Luftdruck an irgend einem Orte eine Luftsäule in die Höhe und strömt oben ab, so haben wir in jener Höhe eine Strömung, die sich vom barometrischen Minimum hinweg bewegt. Verdichtet sich irgendwo eine Luftsäule, kommt es also zur Entstehung eines höheren Luftdrucks, so muss von oben Luft nachströmen — wir haben in der Höhe eine Strömung, die sich nach dem barometrischen Maximum hin bewegt. Aber diese, wir möchten sagen, „sekundären“ Strömungen

gehen in sehr bedeutender Höhe vor sich, jedenfalls in einer so bedeutenden, dass sie gewöhnlich für uns nicht in Betracht kommen ¹⁾.

Wenn im allgemeinen der Satz richtig ist, dass die Luftströmungen sich immer vom barometrischen Maximum nach einem Minimum bewegen, so erfährt er im besondern doch eine bedeutsame und sehr ins Gewicht fallende Abänderung:

Es herrscht eine Kraft, die die Richtung der Luftströmungen störend beeinflusst, und dieser störende Einfluss ist zurückzuführen auf die Achsendrehung der Erde. Allerdings ist diese nicht imstande, einem auf der Erdoberfläche ruhenden Körper irgend welche Bewegung zu erteilen, aber sie macht sich sofort geltend, wenn ein Körper durch irgend einen Kräfteanstoß in Bewegung gebracht wird. In diesem Falle modifiziert die Achsendrehung den Weg, den der bewegte Körper einschlägt. Letzterer steht ja nun unter dem Einflusse von zwei Kräften — der einen Kraft, die durch momentane Einwirkung seine Bewegung veranlasste und die ihn zwingen würde, in gleichen Zeiten immer gleiche Wege zu durchlaufen — und der andern, von der Achsendrehung ausgehenden Kraft, die mit immer neuen Energiemomenten auf den Körper wirkt und ihn fortwährend aus der durch die erste Kraft bedingten Bewegungsrichtung entfernt. Jeder Körper nun, der gleichzeitig unter dem Einflusse einer momentan wirkenden und unter dem einer sich immer erneuernden Kraft steht, muss sich in einer Kurve bewegen. Die sich hier im besondern ergebende Kurve wird die Trägheitskurve genannt. Als endgültiges Ergebnis besonders sorgfältiger von Buff, Zöppritz und Sprung angestellter Untersuchungen kann der Satz ausgesprochen werden:

Ein jeder auf der Erdoberfläche oder ihr parallel sich bewegende Körper hat die Tendenz, auf der nördlichen Halbkugel der Erde nach rechts, auf der südlichen Hemisphäre nach links von seiner ursprünglichen Bewegungsrichtung abzuweichen, und zwar ist diese Tendenz völlig unabhängig von dem Winkel zwischen dem Meridian und der ursprünglichen Bewegungsrichtung.

Hieraus erklärt sich die Erscheinung, dass der Wind aus SO weht, wenn sich westlich vom Beobachtungspunkt ein barometrisches Minimum gebildet hat (während man doch dann die Windrichtung von O nach W erwarten sollte). Der Wind wird also bei uns (auf

1) Das Vorhandensein dieser Gegenströmung bemerken wir nicht selten an hoch ziehenden Wolken, die sich entgegengesetzt zu der an der Erdoberfläche herrschenden Windrichtung bewegen.

der nördlichen Hemisphäre) für einen Beobachter, der nach dem Ort des niedrigsten Luftdrucks hinsieht, nach rechts abgelenkt. Wenn man dem Winde den Rücken zuwendet, so liegt der Ort des niedrigsten Luftdrucks zur Linken und etwas nach vorn, der des höheren rechts und etwas nach hinten. Befindet man sich auf der südlichen Halbkugel, so sind die Verhältnisse hinsichtlich der Seiten umgekehrt; man hat also in vorstehender Regel einfach die Worte „rechts“ und „links“ miteinander zu vertauschen. Hiernach gilt das barische Windgesetz (Buys-Ballotsches Gesetz):

Der Wind weht stets von Gegenden, die höheren Luftdruck haben, nach den Gegenden mit niedrigerem Luftdruck, wird aber dabei auf der nördlichen Erdhälfte nach rechts, auf der südlichen nach links abgelenkt.

Diese Ablenkung ist um so stärker, je stärker der Wind weht und je weiter die Gegend, in der er weht, vom Äquator entfernt ist.

Was nun die Stärke des Windes, d. h. die Schnelligkeit der Luftbewegung anlangt, so ist auch hierfür die Luftdruckänderung allein massgebend, d. h. mit der Grösse der barometrischen Differenz zwischen zwei Punkten wächst gleichzeitig die Windgeschwindigkeit. Aus diesem Grunde giebt eine Karte der Isobaren (vgl. Seite 47) den besten Überblick über die zeitweilig herrschenden Windströmungen und Windstärken. Man wolle dementsprechend zur Erklärung der jetzt folgenden Erläuterungen die im meteorologischen Kapitel wiedergegebene Isobarenkarte Fig. 7 heranziehen. Die Isobaren werden stets in Abständen von 5 mm Luftdruckdifferenz gezogen; diese gleiche Differenz ist zwischen zwei Isobaren während ihres ganzen Verlaufes vorhanden. Man sieht nun aber, dass die Isobaren sich nicht etwa in räumlich gleichen Abständen halten, sondern dass sie an einzelnen Stellen dicht aneinander rücken, um dann wieder weit auseinander zu gehen. So sind die barometrischen Minima und Maxima von sehr ungleich nahen Isobaren umgeben. Die Winde, die ja durch die Gleichgewichtsstörungen im Luftmeer bedingt sind und einen Ausgleich herbeizuführen streben, werden sich im allgemeinen in senkrechter Richtung zu den Isobaren nach dem Luftdruckminimum hin oder vom Maximum weg bewegen (mit den durch die Achsendrehung der Erde bewirkten, in der oben stehenden Regel bezeichneten Abweichungen); sie werden ferner um so raschere Strömung zeigen müssen, je kürzer die Wegstrecke zwischen zwei Isobaren ist, d. h. je dichter dieselben aufeinander rücken, je

steiler also der Abfall des Luftdruckes ist. Um die Beziehung zwischen der barometrischen Differenz einerseits und der Wegstrecke, auf der sich die Differenz vollzieht, anderseits auszudrücken, hat man den Begriff des barometrischen Gradienten eingeführt: Fällt man von einer Isobare in irgend einem Punkt ein Lot auf die Richtung der nächst gelegenen Isobare, so heisst dieses Lot „die Richtung des Gradienten“. Die barometrische Differenz nun, die zwischen den beiden Endpunkten des so gefällten Lotes beobachtet wird, setzt man in Beziehung zu der Länge dieses Lotes, d. h. zu der Entfernung zwischen beiden Isobaren, und zwar rechnet man die Druckdifferenz um auf eine Einheit der Weglänge von 111 Kilometer, d. h. auf einen Äquatorgrad.

Die Anzahl von Millimetern, um welche der Luftdruck auf der Strecke von einem Grad des Äquators (111 Kilometer) abnimmt, heisst der barometrische Gradient.

Sind z. B. zwei Orte 37 Kilometer voneinander entfernt und haben sie zur Zeit einen Barometerunterschied von 2 mm, so ist der barometrische Gradient zwischen beiden Orten = 6, da — unter der Annahme einer gleichmässigen weiteren Druckabnahme in derselben Richtung — das Barometer, das auf 37 km Weglänge 2 mm Unterschied zeigt, auf $3 \times 37 = 111$ km Weglänge $3 \times 2 = 6$ mm Unterschied zeigen muss.

Immer wird dabei vorausgesetzt, dass die beiden, ¹⁰ von einander entfernten Orte auf einer geraden Linie liegen, die mit der Isobare rechte Winkel bildet und nach der Gegend mit niedrigerem Luftdruck hinweist — Richtung des Gradienten.

„Beobachtet ¹⁾ man irgendwo ein barometrisches Minimum, und bilden die Isobaren konzentrische Kreise um dasselbe, so geben die Halbmesser die Richtungen der Gradienten an. Weil durch den Gradienten die Verschiedenheit des Luftdrucks angezeigt wird, hängt die Stärke des Windes ab von der Grösse des Gradienten. Je grösser oder stärker der Gradient ist, desto stärker wird der Wind. Je kleiner oder schwächer der Gradient sich zeigt, desto geringer ist die Geschwindigkeit des Windes. Die Gradienten des Windes erreichen eine Grösse bis zu 3,4 mm; Gradienten, welche 3,4 mm übersteigen, sind Sturmgradienten.“

Man unterscheidet regelmässige und veränderliche Winde.

1) Nach Crüger, Lehrbuch der Physik. 8. Aufl.

Regelmässige Winde.

Unter regelmässigen Winden versteht man solche, die in festgesetztem, regelmässigem Wechsel erscheinen und verschwinden.

Zur Erläuterung der regelmässigen Winde bedient man sich häufig des Bildes von einem Zimmer, das durch einen in der Mitte stehenden Ofen erwärmt wird. An zwei gegenüber liegenden Seiten des Zimmers befinden sich offene Thüren, die zu nicht geheizten Räumen führen. Diese Verhältnisse bieten im kleinen dasselbe, wie die Erdoberfläche im grossen: Das mittlere, geheizte Zimmer ist der Äquatorialgürtel; die beiden kalten Räume sind die Polargegenden. Zwischen den drei Räumen beobachtet man Luftströmungen, die denen im grossen zwischen Äquatorial- und Polargegenden gleich sind. Man kann diese Verhältnisse untersuchen, wenn man ein brennendes Licht in die offene Thür hält:

Über dem Ofen steigt die erwärmte leichte Luft auf und fliesst am oberen Teil der Thür nach den kalten Räumen ab; halten wir das Licht oben in den Thürrahmen, so wird die Flamme nach aussen, dem kalten Raum zu, weggeblasen. Unten strömt die kältere schwerere Luft in den warmen Raum herein; das in den Thürrahmen dicht am Boden gehaltene Licht zeigt eine nach einwärts (nach dem erwärmten Raum hin) gewehrte Flamme. Hält man das Licht im Thürrahmen in verschiedenen Höhen, so findet man eine Horizontalebene, in der die Flamme ganz ruhig brennt — hier begegnen sich die warme und die kalte Strömung; es entsteht eine Region der Windstille. Hiermit ist die Erklärung der regelmässigen Winde gegeben.

Die wichtigsten regelmässigen Winde sind die Passatwinde, auch einfache Passate genannt.

Man unterscheidet auf beiden Halbkugeln der Erde eine Passatzone; zwischen beiden Passatzonen liegt der Kalmengürtel oder Doldrum, innerhalb dessen völlige Windstille mit schwachen veränderlichen Winden abwechselt. Die Lage der Passatregionen gegenüber diesem trennenden Gürtel ist nicht ganz symmetrisch; die nördliche Passatzone liegt etwa zwischen 12° und 35° (nördlicher) Breite, die südliche erstreckt sich zwischen 5° und 30° (südlicher) Breite. Der Kalmengürtel ist also in Bezug auf den Äquator nach Norden verschoben; er beansprucht mehr Terrain von der nördlichen als von der südlichen Hemisphäre. Die angegebenen Grenzen sind übrigens nicht ganz feststehend, weil sich die in Rede stehende Zone, der Ort stärkster Erhitzung und kräftigster Luftauflockerung, mit dem wechselnden Sonnenstande selbst ein wenig auf der Erde hin- und herschiebt.

In der die heissesten Teile der Erdoberfläche einnehmenden Kalmenzone wird die Luft wegen der starken Erwärmung und der grossen Menge von Wasserdämpfen leichter und steigt in die Höhe. Sieht man von den sehr häufigen und ausserordentlich heftigen Gewitterstürmen ab, so kommen wagerechte Luftströmungen von einiger Dauer in den Kalmen nicht vor.

Dadurch, dass warme Luft aufsteigt, wirkt der darunter befindliche, luftverdünntere Raum ansaugend. Es strömt also unten an der Erde fortwährend Luft in den entstandenen Hohlraum ein, d. h. es entstehen regelmässig wehende Winde nach dem Kalmengürtel hin.

Anderseits strömt die erwärmte, innerhalb der Kalmenzone nach oben gestiegene Luftsäule nach den kälteren Ländern hin ab; die Luftsäule teilt sich und es entsteht in grosser Höhe ein entgegengesetzter regelmässiger Wind, der von der Kalmenzone nach den beiderseitigen Polarländern hin weht. Je mehr nun aber diese beiden oberen Passate in kältere Zonen gelangen, um so mehr kühlt sich die heisse Luft, aus denen sie ursprünglich bestanden, ab; um so mehr senken sich diese oberen Passate zur Erdoberfläche hinab.

Von den Passatwinden führen diejenigen, die nach den Kalmen hin wehen, den Namen „Passate“ und „Unterpasate“, während die Gegenströmungen, die sich von den Kalmen her zuerst in grosser Höhe bewegen und sich erst allmählich gegen die Pole hin nach unten senken, als „Antipasate“ und „Oberpasate“ bezeichnet werden. Die Richtung der Passate wird, wie der aller Winde überhaupt, durch die Achsendrehung der Erde beeinflusst, und zwar entsprechend dem barischen Windgesetz (Seite 85).

Die Gegend, in der die Passatwinde beständig wehen, erstreckt sich, wie gesagt, vom 30° südlicher Breite bis zum 35° nördlicher Breite; dazwischen liegt zwischen 5° südlicher und 12° nördlicher Breite die Kalmenzone. In dem nördlichen Teil der Passatregion weht ununterbrochen der Nordostpassat, in dem südlichen der Südostpassat.

Durch die Gegenströmung beginnt auf der nördlichen Erdhälfte in der Höhe ein Südwind; wegen der Erdumdrehung wird derselbe nach Osten abgelenkt und gestaltet sich zu einem Südwestwind, der der Südwest-Antipassat heisst.

Auf der südlichen Erdhälfte wird die in der Höhe nach Süden abfliessende Luft nach links, also ebenfalls nach Osten abgelenkt; es entsteht so der Nordwest-Antipassat. „Von¹⁾ diesen Antiober- oder Gegenpassatwinden wird man getroffen bei dem Besteigen sehr hoher Berge, und sie sind ausserdem zu erkennen an der Bewegung

1) Nach Crüger l. c.

der Federwolken, an den Rauchsäulen über hohen Vulkanen und der Fortführung vulkanischer Asche. Auf dem Gipfel des Mauna-Loa auf Hawaii, einer der Sandwichsinseln, herrscht in einer Höhe von 4200 m der Südwestwind, während unten ein beständiger Nordostwind weht. Die sogenannten Passatwolken, Cirruswolken in bedeutender Höhe, ziehen auf der nördlichen Halbkugel von SW nach NO, dem an der Erdoberfläche herrschenden Winde entgegen, weil die obere Luftströmung die entgegengesetzte Richtung hat. Der Vulkan Cotopaxi in Südamerika, nicht weit vom Äquator, trägt eine Rauchsäule, welche in ihrem untern Teile der Richtung des an der Erde herrschenden Südostpassats nach NW folgt, dann aber in einer Höhe von 6500 m plötzlich umbiegt und in der entgegengesetzten Richtung weiter emporsteigt. — Auf diese Weise lässt sich das Wehen der Antipassate in der Höhe ungefähr bis zum 30. oder 40. Grad nördlicher Breite und bis zum 30. Grad südlicher Breite nachweisen. In diesen Gegenden aber häuft die Luft der Antipassate sich an und senkt sich, weil sie allmählich kälter und schwerer geworden ist, zum grössten Teil zur Erdoberfläche hinab. Dabei bewirkt sie erstens die Windstillen, welche die Windstillen des Krebses und des Steinbocks genannt werden, und zweitens einen höheren Barometerstand, welcher durchschnittlich 765 mm beträgt, während am Äquator ein Luftdruck von 760 mm herrscht.

Die Richtung eines jeden Passatwindes ist der Richtung des über ihm wehenden Antipassats entgegengesetzt. Es findet auf diese Weise in beiden Teilen der heissen Zone ein beständiger Kreislauf der Luft statt.“

In Wirklichkeit gestalten sich die Dinge nun nicht so einfach; erstens geht der Antipassat vielfach zu rein westlicher Richtung über, was man namentlich auf dem Gipfel des Pikes von Tenerifa direkt, sonst aber auch recht häufig am Zuge der Cirruswolken erkennen kann. Und zweitens senken sich Luftmassen aus dem Antipassat viel früher zur Erde herab, als sie es der strengen Theorie nach sollten, und tragen zur Verstärkung der Unterströmung bei. Jedenfalls ist in Wirklichkeit die Richtung des Antipassats der des Passats keineswegs diametral entgegengesetzt, sondern sie erleidet vielfache Abänderungen. Auch hat man aus mannigfachen Versuchen ersehen, dass zwischen Passat und Antipassat immer rein westliche Teilströmungen eingeschaltet sein müssen. Im allgemeinen kann man sagen, dass sich das Wehen der Passatwinde auf der südlichen Halbkugel in grösserer Reinheit darstellt als auf der nördlichen, weil auf dieser die stärkere Reibung der Luft an der Erde und die ungleiche Erwärmung der Landmassen die Richtung dieser Luftströmungen ablenkend beeinflussen.

Weitere regelmässige Winde sind die sogenannten Land- und Seewinde, die auch Küstenwinde und Land- und Seebrisen genannt werden. Diese regelmässigen Luftströmungen zeigen sich am besten auf Inseln mit warmem Klima und an den Küsten der Tropenzone:

Das Land erwärmt sich bei Tage rascher und stärker als das Meer. Es entsteht über dem Lande ein aufsteigender warmer Strom, der durch einen kühleren, in den unteren Regionen sich bewegenden Strom ersetzt wird — die Seebrise weht vom Meere gegen das Land hin. Weiter drinnen im Meere setzt diese Brise früher ein, weil die warme Luft von der Höhe allmählich herabsinkt. Der Seewind ist also vormittags am stärksten, in den Mittagsstunden wird er schwächer und hört gegen Abend ganz auf.

Nach Untergang der Sonne verliert das Land seine Wärme viel schneller als das Wasser, da dieses eine viel grössere Wärmekapazität, d. h. ein viel geringeres Ausstrahlungsvermögen für die Wärme besitzt als das Land (vgl. Seite 51). So lockert sich die Luft jetzt über dem Meere auf, und es weht unten der Landwind vom Lande zum Meere, während in den oberen Regionen die umgekehrte Strömung herrscht. Ein ähnlicher Umschlag des Windes lässt sich schon bei grösseren Binnenseen bemerken, jedoch verschieben sich diese Verhältnisse stark, wenn der See von Bergen oder gar von ausgedehnten Gebirgszügen umgeben ist.

Der gleiche Wechsel der Luftströmungen wie bei den Küstenwinden findet sich wieder in den Monsunwinden der indischen Meere, nur dass hier der Wechsel der Zirkulation nicht von Tag und Nacht, sondern vom ganzen Jahre abhängt.

In den indischen Meeren und auch in einem grossen Teile Hindostans weht von April bis Oktober in wechselnder Stärke ein Südwestwind, während von November bis April ein Nordostwind herrscht; es sind diese Monsune früher, vor allgemeiner Einführung der Dampfschiffahrt, von ausserordentlich grosser Bedeutung für den Handelsverkehr in jenen Meeren gewesen, aber sie üben auch heute noch auf die Schnelligkeit der Beförderung einen erheblichen Einfluss aus.

Günther (l. c.) schreibt: „In der warmen Jahreszeit erhitzt sich die Luft über dem Festlande von Hindostan unverhältnissmässig mehr als über dem Meere, der Luftdruck vermindert sich über ersterem, und die Luft strömt vom Meere her diesem zu, während vom Herbst an der Kontinent sehr rasch seine Ausstrahlung verliert und seine kühlere Luft am Boden hin abströmen lässt. Ganz so einfach, wie wir hier den schematischen Prozess darstellten, vollzieht

sich derselbe natürlich nur in Ausnahmefällen; in Madras z. B. besteht für den Beginn des Nordostmonsuns ein Spielraum von etwa fünf Wochen. Der Monsun dringt bis gegen den Himalaya hin vor, äussert sich aber nicht allenthalben gleich, was wohl mit der verschiedenen Höhe dieser ungeheueren Gebirgsmauer zusammenhängt. Für die Intensität des Luftauflockerungsprozesses ist die Thatsache klärend, dass in der Zeit vom Dezember bis Juli der Barometerstand um 12,5 mm sinkt, in China sogar noch mehr. In letzterem Lande nimmt der Monsun, nachdem er sich um den vorliegenden Grenzwall herumgeschlungen hat, eine südliche, dann eine südöstliche und zuletzt eine fast rein östliche Richtung an, wobei die Verschiebung des eigentlichen Aspirationszentrums¹⁾ ebenfalls von Einfluss ist.“

In weniger ausgedehntem Masse kommen Monsune, also Jahreszeitenwinde, auch in andern Ländern zustande. Es giebt auch Dauerwinde nach einer Richtung hin, die in gleicher Weise wie die Monsune entstehen, wo aber nur die eine der beiden Strömungen zur Wirkung gelangt, während die andere durch irgend welche Ursachen verwischt wird.

Unregelmässige Winde.

Nördlich und südlich jenseits der Passatzone erstreckt sich die Gegend der veränderlichen Winde. Regelmässige zeitliche Schwankungen der Windrichtung und Windstärke sind unserm Klima nicht eigen; vielleicht könnte man das Jahr hinsichtlich der Winde in der gemässigten Zone in zwei Hälften teilen: der sturmreicheren Jahreshälfte von Ende September bis Ende März und der ruhigeren Jahreshälfte, die Sommer und Herbst umfasst.

Weiter beobachtet man, was den Kontinent im besondern anlangt, eine tägliche Schwankung (Tagesschwankung) in der Windstärke derart, dass der Wind vormittags gegen 10 Uhr ansteigt, bald nach Mittag seine grösste Stärke erreicht und gegen Sonnenuntergang wieder einlullt. Diese täglichen Schwankungen sind leicht zu erklären: Während der Nacht bleibt die unterste Luftschicht ruhig liegen und vermischt sich nicht mit der obern, weil sie kälter ist als diese und weil sie durch Bodenerhebungen, Häuser etc. an der horizontalen Fortbewegung gehindert wird, während die obern Schichten fast immer in rascher Strömung begriffen sind. Gegen 10 Uhr vormittags ist aber die untere Luftlage durchwärmt,; sie wird nun nach oben gedrängt und mischt sich mit den lebhafter bewegten Schichten

1) Das Aspirationszentrum ist der Mittelpunkt des Auflockerungsprocesses, d. h. die Stelle, wo eine Luftsäule in die Höhe steigt, wohin also ein unterer Luftstrom angesaugt (aspiriert) wird.

— der Wind nimmt an Stärke zu. Gegen Abend tritt unter dem Einflusse der Bodenausstrahlung allmählich wieder die frühere Schichtung ein; die untere, kalte Luftlage bleibt ruhig an der Erdoberfläche — der Wind sinkt ab. So erklärt es sich auch, dass sich über Nacht die stärkste Ansammlung von Gertichen geltend macht, namentlich im Hochsommer, wo die engen Strassen und Höfe und die Keller der Häuser die verhältnismässig niedrigste Temperatur aufweisen.

Könnten diese Fälle einer gewissen Regelmässigkeit der Winde auch noch durch andere Beispiele vermehrt werden, so bleibt doch im allgemeinen der Satz richtig, dass nördlich und südlich der Passatzone nur von Gegenden mit veränderlichen Winden gesprochen werden kann.

In den Zonen nördlich vom 40. Grad nördlicher und südlich vom 40. Grad südlicher Breite wird der Wind (und gleichzeitig das Wetter mit ihm) allein bestimmt durch die jeweiligen Stellen des höchsten und des niedrigsten Luftdrucks; es gilt also dann einzig und allein das auf Seite 85 wiedergegebene barische Windgesetz, was die Richtung des Windes anlangt, und seine Stärke hängt nur ab von der Grösse des Gradienten (vgl. Seite 96).

Der Gang der Isobaren auf einer Isobarenkarte zeigt an, wo der Luftdruck hoch und wo er niedrig ist. Ist der Luftdruck in einer Gegend höher als ringsumher, so wird sein Gebiet umgrenzt durch eine Isobare in Form einer in sich geschlossenen krummen Linie (Kreis, Ellipse) etc. Von der Gegend des höchsten Druckes aus nimmt der Luftdruck nach allen Seiten hin langsam ab.

Ist der Luftdruck in einer Gegend höher als rings umher, so heisst er ein barometrisches Maximum oder ein Maximum des Luftdruckes.

Ist der Luftdruck in einer Gegend niedriger als rings umher, so wird auch ein solches Gebiet durch eine Isobare in Form einer in sich geschlossenen krummen Linie umgrenzt. Von der Gegend des niedrigsten Drucks aus nimmt der Luftdruck nach allen Seiten hin zu, und zwar häufig sehr schnell.

Ist der Luftdruck in einer Gegend niedriger als rings umher, so heisst er ein barometrisches Minimum oder ein Minimum des Luftdrucks oder eine Depression.

Von einem Maximum aus strömt die Luft in allen Richtungen nach aussen und wird dabei auf der nördlichen Halbkugel nach rechts abgelenkt. Hieraus ist zu folgern:

Auf der Ostseite eines Maximums weht der Wind aus NW, auf der Südseite aus NO, auf der Westseite aus SO und auf der Nordseite aus SW.

Da die Abnahme des Luftdruckes von einem Maximum aus langsam erfolgt, so wehen von dem Maximum her gewöhnlich nur schwache Winde. Bei der Bewegung um das Maximum durchläuft die Luft um dasselbe spiralförmige Bahnen in der Richtung nach rechts (Uhrzeigerrichtung).

Die Bewegung der Luft aus einem Maximum und um dasselbe nennt man eine Anticyklone. Man bezeichnet im weitern Sinne auch direkt die Isobarenkurve, die ein Maximum begrenzt, als Anticyklone.

Nach einem Minimum hin und in dasselbe hinein strömt die Luft von allen Seiten, und zwar um so heftiger, je niedriger in demselben der Luftdruck ist, oder, richtiger gesagt, je niedriger der Druck des Minimums gegenüber dem anderer benachbarter Gegenden sich darstellt, also je stärker der Gradient ist. Dabei wird die Luft für einen mit der Windrichtung (nach dem Minimum) schauenden Beobachter auf der nördlichen Halbkugel nach rechts abgelenkt.

Auf der Ostseite eines Minimums weht der Wind aus SO, auf der Südseite aus SW, auf der Westseite aus NW und auf der Nordseite aus NO.

Bei der Bewegung nach einem Minimum und um dasselbe durchläuft die Luft spiralförmige Bahnen nach links (entgegen der Uhrzeigerrichtung).

Die Bewegung der Luft nach einem Minimum und um dasselbe nennt man eine Cyklone. Man bezeichnet im weitern Sinne auch direkt die Isobarenkurve, die ein Minimum begrenzt, als Cyklone.

Die weiteren Ergänzungen, die Grundformen der Isobaren, ihre Bedeutung für die Witterung u. s. w. wird der meteorologische Abschnitt „Das Wetter“ bringen. Hier sei nur bemerkt, dass die barometrischen Maxima im allgemeinen eine gewisse Dauer haben, d. h. dass sie sich an einem Orte längere Zeit zu halten pflegen. Die Minima dagegen sind sehr veränderlich; sie wandern gewöhnlich schnell weiter.

Für unsere Breiten hat man nach vielen Beobachtungen die Richtung festgestellt, in der sich der Wind gewöhnlich zu drehen pflegt. Beobachtet man Minima über Irland, die dann nach Osten fortschreiten, so ziehen sie sehr häufig nördlich von Deutschland weiter. Befindet sich das Minimum westlich von uns, so herrscht bei

uns Südostwind. Steht das Minimum in Nordwest, so haben wir Südwind; erscheint das Minimum im Norden, so ruft es zuerst Südwest-, dann West- und Nordwestwind hervor. Hieraus ist das sogenannte Dovesche Winddrehungsgesetz abgeleitet worden:

Auf der nördlichen Hemisphäre pflegt sich der Wind im Sinne des Uhrzeigers zu drehen, auf der südlichen Halbkugel in dem entgegengesetzten.

Danach dreht sich der Wind bei uns meist von O über S und W nach N.

Übrigens muss bemerkt werden, dass das Dovesche Winddrehungsgesetz nach neueren Beobachtungen bei weitem nicht so allgemeine Gültigkeit besitzt als früher angenommen wurde.

Dagegen wurde in Anschluss an das barische Windgesetz, das man nach seinem Urheber das Buys-Ballotsche Gesetz nennt, durch Ferrel folgendes Theorem aufgestellt, das allgemeine Gültigkeit zu haben scheint:

„Die gesamte allgemeine Luftbewegung einer Hemisphäre repräsentiert einen grossen atmosphärischen Wirbel, in welchem die Zirkulation durch die konstanten Temperaturdifferenzen eingeleitet und unterhalten, durch die Erdrotation aber in bestimmter Weise modifiziert wird, und zwar so, dass die Rotation der Luftteilchen im innern Gebiete des Wirbels in der gewöhnlichen Weise erfolgt: gegen den Uhrzeiger auf der nördlichen, mit demselben auf der südlichen Hemisphäre. Jeder der zwei Wirbel besitzt aber noch ein äusseres, ringförmiges Gebiet mit entgegengesetzter Rotation; an der Grenze des innern und äussern Gebietes erfolgt durch die „Zentrifugalkräfte“ eine Anhäufung der Luft und eine entsprechende Vergrösserung des Luftdruckes.“

Bevor wir schliesslich noch auf einige besonders wichtige Arten von unregelmässigen Winden eingehen, sei über die Bezeichnung der Windrichtung und über die Windstärke folgendes erwähnt:

Bekanntlich giebt man die Windrichtung nicht so an, dass man den Winkel, den die herrschende Windrichtung mit irgend einer festen Ausgangsrichtung bildet, in Bogengraden, Minuten und Sekunden notiert, sondern man vergleicht die Windrichtung mit der Windrose, deren Lage wieder durch den magnetischen Meridian fest bestimmt ist.

Die Windrose weist 4 Hauptrichtungen und im ganzen entweder 16 oder 32 Richtungen auf; die Windrose mit 32 Richtungen ist die Strichrose der Seefahrer. Für meteorologische Beobachtungen sind 16 Bezeichnungen der Windrichtung international vereinbart worden, und zwar:

N	für Nord,
NNE	„ Nordnordost ¹⁾ ,
NE	„ Nordost,
ENE	„ Ostnordost,
E	„ Ost,
ESE	„ Ostsüdost,
SE	„ Südost,
SSE	„ Südsüdost,
S	„ Süd,
SSW	„ Südsüdwest,
SW	„ Südwest,
WSW	„ Westsüdwest,
W	„ West,
WNW	„ Westnordwest,
NW	„ Nordwest,
NNW	„ Nordnordwest.

Um Irrtümern zu begegnen, sei bemerkt, dass man zur Charakterisierung des Windes ausnahmslos diejenige Himmelsgegend verwendet, woher der Wind weht.

Für die Windstärke hat man verschiedene Skalen aufgestellt. Die älteste rührt von Beaufort her und ist in ihren praktischen Bezeichnungen dem Verständnis der Seefahrer angepasst.

Beauforts Windskala.

Stärke	Bezeichnung		Windgeschwindigkeit in m per Sekunde
0	Windstille		bis 1,34 m
1	Leiser Zug	hinreichend, damit das Schiff steuere	3,60 "
2	Leichte Brise	bei der ein Kriegsschiff mit allen Segeln, voll geschwellt, in glatter See läuft	
		1—2 Knoten	5,82 "
3	Schwache „	dito 3—4 "	8,1 "
4	Mässige „	dito 5—6 "	10,3 "
5	Frische „	bei der das Schiff dicht beim Wind und voll noch fahren kann: mit Oberbramsegel u. s. w.	12,5 "

1) Das E ist Abkürzung für „Est“ (franz.) und „East“ (engl.) = Ost.

Stärke	Bezeichnung		Wind- geschwin- digkeit in m per Sekunde
6	Starke Brise	bei der das Schiff dicht beim Wind und voll noch fahren kann: mit einfach gereiften Marssegeln und Bramsegeln	bis 15,2 m
7	Starker Wind	dito, mit doppelt gereiften Marssegeln u. s. w.	17,9 "
8	Stürmischer Wind	dito, mit dreifach gereiften Marssegeln u. s. w.	21,5 "
9	Sturm	dito, mit dicht gereiften Marssegeln und Grossegeln	25,0 "
10	Starker Sturm	bei dem das Schiff kaum die dicht gereiften Hauptmarssegel und die gereiften Vormarssegel ertragen kann	29,0 "
11	Heftiger Sturm	bei dem es sich auf das Sturmstagesegel beschränken muss	33,5 "
12	Orkan	bei dem kein Segel geführt werden kann	40,0 "

Anstatt dieser Beaufortschen Windskala benutzt man, unter Beziehung der Windstärken auf Vorgänge des festen Landes, folgende Bezeichnungen, die man „Landskala“ oder „Halbe Beaufortskala“ nennt.

Halbe Beaufortskala.

Stärke	Bezeichnung	Vorgänge auf dem Lande
0	Windstille	Der Rauch steigt gerade oder fast gerade in die Höhe.
1	Schwacher Wind	Bewegt die Blätter und schwächsten Zweige der Bäume.
2	Mässiger Wind	Bewegt stärkere Zweige und schwächere Äste der Bäume.
3	Frischer Wind	Bewegt stärkere Äste und schwache Stämme.
4	Starker Wind	Bewegt ganz starke Bäume und macht das Gehen im Freien schwer.
5	Sturm	Bricht Äste und schwache Stämme, verursacht Schaden an Dächern.
6	Orkan	Bricht oder entwurzelt starke Bäume, deckt Häuser ab, bewegt schwere Massen von der Stelle u. s. w.

Für die meteorologischen Beobachtungstationen glaubte man auch mit dieser Landskala noch nicht auskommen zu können; man hat daher hier eine 10gradige Skala eingeführt. Da man den hiernach geschätzten Windstärken in meteorologischen Berichten am häufigsten

begegnet, so sei auch diese 10gradige Skala in der Aufstellung von J. Hann¹⁾ hier wiedergegeben:

Stärke	Windgeschwindigkeit per Sekunde	Bezeichnung. Vorgänge auf dem Lande
0	1	Windstille oder leichtes, kaum merkbares Lüftchen.
1	3	Schwacher Wind, der die Blätter der Bäume bewegt.
2	5	Mässiger Wind, der auch die schwächern Zweige bewegt.
3	8	Mässiger (mässig starker) Wind, der schon die stärkern Zweige bewegt.
4	11	} Ziemlich starker Wind, der schon die stärkern Äste bewegt.
5	15	
6	19	} Starker Wind { der die ganzen Bäume bewegt, auch wohl Zweige abbricht.
7	24	
8	29	Stürmischer Wind, welcher Äste oder schwache Bäume bricht, das Gehen im Freien schwierig macht.
9	34	Sturm, welcher starke Bäume bricht oder entwurzelt, Waldbrüche oder Schaden an Dächern verursacht, Menschen zu Boden wirft u. s. w.
10	40	Orkan, welcher Häuser abdeckt, festgemauerte Schornsteine herabwirft, schwere Massen fortbewegt u. s. w.

Die deutsche Seewarte zu Hamburg hat folgende Skala für die Windstärke: 1 = leiser Zug, 2 = leicht, 3 = schwach, 4 = mässig, 5 = frisch, 6 = stark, 7 = steif, 8 = stürmisch, 9 = Sturm, 10 = starker Sturm, 11 = heftiger Sturm, 12 = Orkan.

Auf den meteorologischen Karten wird die Windrichtung durch Pfeile dargestellt; die Befiederung dieser Pfeile giebt die Windstärke an, und zwar werden zur Befiederung 1 bis 6 Striche (Halbe Beaufortskala) verwendet: 1 Strich = schwacher Wind, 6 Striche = Orkan.

Man weiss, dass die starken Winde, wie dies auch aus den drei vorstehenden Tabellen hervorgeht, Stürme und, bei noch grösserer Geschwindigkeit, Orkane genannt werden.

Alle Stürme sind ganze (in sich geschlossene) Cyklonen mit grossen Gradienten oder, wie gewöhnlich bei uns, solche Teile von Cyklonen, die grosse Gradienten haben.

Von den besonders gearteten Stürmen seien hier zuerst die Fallwinde erörtert, deren wichtigster Vertreter die berüchtigte Bora ist.

1) Nach „Jelineks Anleitung zur Ausführung meteorologischer Beobachtungen“, neu herausgegeben und umgearbeitet von J. Hann.

Hinsichtlich der Entstehung der Bora kann man einen Anhalt aus der Thatsache gewinnen, dass dieser Fallwind nur in unmittelbarer Nähe der Gebirgskämme wirkliche Sturmwirkungen hervorbringt, dagegen weiter landeinwärts auf der Hochebene nur als ein gewöhnlicher Wind von nicht gerade auffallender Stärke auftritt. Ueber die Bildung der Fallwinde, die dem Boratypus angehören, entnehmen wir dem Güntherschen Werk folgendes: „Wenn der Allgemeincharakter des Wetters der der Heiterkeit und Stille ist, so sammeln sich zumal im Winter auf dem Plateau, geschützt durch das Küstengebirge, beträchtliche kalte Luftmassen. An der vom Meere entfernten Seite des Plateaus wird der Luftdruck natürlich sich nicht immer gleich bleiben; sinkt er unter jenes Mass des Druckes, welches oben auf der Hochfläche das herrschende ist, so wird die Luft dem barischen Grundgesetze zufolge langsam gegen das Hinterland hin abfliessen; wenn dagegen eben über diesem Hinterlande der Luftdruck der stärkere ist, so muss sich die atmosphärische Bewegung in der umgekehrten Richtung vollziehen, und es wird so die kalte Luft teilweise über den Kamm des Gebirges weggeschoben. Man sieht sofort, dass der barometrische Gradient sowohl in vertikaler wie auch in horizontaler Richtung ein sehr grosser sein muss, es wird also die abgedrängte kalte Luft, die ein grösseres spezifisches Gewicht besitzt, mit bedeutender Energie in die direkt über dem Meere lagernde feuchte und wärmere Luft hinabstürzen, und es muss der Eindruck eines Fallwindes auch bei dem des wahren Herganges Unkundigen in vollstem Masse hervorgerufen werden. Dabei können die statischen Verhältnisse der von der Invasion betroffenen Luft ganz normale sein, aber freilich wird die Grösse des vertikalen Gradienten und folgeweise auch die Energie des Absturzes sich noch verstärken, wenn zufällig gerade über der See eine barometrische Depression befindlich ist. Die Bora ist ebenso wie jede der zu ihrem Typus gehörigen Luftströmungen ein kalter Wind, und es lässt sich auch in Zahlen die Bedingung angeben, welche erfüllt sein muss, damit der Fallwind diese seine Eigenschaft beibehält.“

Ausser den kalten Fallwinden giebt es auch solche, bei denen die herabstürzende Luft ungewöhnlich warm ist, jedenfalls wärmer als zur Zeit die Atmosphäre, die den betroffenen Gegenden unmittelbar aufliegt. Als Typus der warmen Fallwinde dient der Fön.

Der Fön geht vom Gebiet der europäischen Alpen aus; aber seine Wirkungen können sich unter Umständen auch über das ganze Württemberg, Bayern, das nördliche Schwaben und Franken erstrecken. Früher herrschte die Vorstellung, dass der Fön ein südlicher Wind sei, der auf gewissen bestimmten Pässen über die Alpen

herüberströme. Jetzt weiss man aber, dass der Fönwind überall entstehen kann, wo entsprechend günstige Verhältnisse sich bilden; ein Fön kann sogar am Südfusse der Alpen seine Wirkungen entfalten, was man früher für ganz unmöglich hielt. Fönartige Winde sind in Grönland wie in Chile und im Thüringerwalde beobachtet worden.

Man kennt gewisse Anzeichen, die als Vorboten des Föns gelten können. Die Cirruswolken bieten ein ganz eigenartiges Bild, das in der Schweiz als Fönge wöl k bezeichnet wird; der ganze Himmel überdeckt sich mit einem dünnen Florschleier, während die in sehr grosser Höhe über der Erde dahinziehenden Federwölkchen ein eigentümliches, zerzaustes und zerzupftes Aussehen erhalten. Häufig hat der Fön einen ihm entgegenkommenden Luftstrom zu bekämpfen; dann bilden sich lange, meridional gestellte Wolkenstreifen, auch Windbäume oder Windstreifen genannt, die oft viele Stunden, ja tagelang ohne Veränderung am Himmel verharren. Zuerst fällt das Barometer nur langsam, dann aber immer schneller, während der Himmel sich in ein düsteres Graublau kleidet und die Temperatur schwüler wird. Dabei nimmt die relative Feuchtigkeit der Atmosphäre so schroff ab, dass das Holzwerk der Häuser und Hausgeräte durch das starke Eintrocknen Risse erhält; die Gefahr verheerender Feuersbrünste ist in den vom Fön betroffenen Gegenden sehr gross. Günther schreibt im weitern über den Fön: „Elektrische Entladungen pflegen dem Fön nicht voraufzugehen, wiewohl verschiedene Beobachter von heftigem Wetterleuchten zu berichten wissen. Der Durchsichtigkeitsgrad der Luft, der erwähnertmassen im ersten Stadium gering war, wird jetzt ein höherer, die Konturen der Berge zeichnen sich scharf ab, finsternes Gewölke (die „Fönmauern“) grenzt sich oberhalb der Gebirgshäupter gegen den mattglänzenden Himmel ab, und die blutrote Sonne kann, wie beim Herrschen des Moorrauches, mit unbewaffnetem Auge angeblickt werden. Aus der Gegend, woher der Sturm zu erwarten ist, dringt ein warmer Hauch, der zuerst noch mit kälteren Luftströmungen wechselt, dann aber immer heisser und so zu dem „Schneefresser“ wird, als welchen ihn die Alpenvölker kennen. Endlich wächst der rasche Luftzug zum Sturme, der verheerend durch das Thal braust, Lawinenstürze und Überschwemmungen entfesselt, aber trotzdem nicht selten von den Bergbewohnern gern gesehen wird, weil er das Land mit einem Schläge aus dem Winter in den Frühling versetzt.“

Was die Entstehung des Fönwindes betrifft, so rührt die glaubhafteste Erklärung von Hann her, der sich durch längere Beobachtung davon überzeugte, dass die ungewöhnliche Temperatursteigerung, die der Fön mit sich bringt, nur in nächster Nähe des

direkt von diesem Fallwinde beherrschten Gebietes zu bemerken ist, jedenfalls aber nicht in einem grösseren Teil der Alpenländer verspürt wird. Die frühere Vorstellung, dass der Fön von Süden her über die Alpen zu uns herüberkomme, ist nach H a n n gänzlich verfehlt; man hat vielmehr von der andern Seite des Gebirges vollkommen abzusehen.

Nördlich von den Alpen bilden sich barometrische Minima, die nach dem barischen Windgesetze als Centren einer Cyklonenbewegung anzusehen sind. Zuerst wird hierdurch die über Frankreich und Deutschland lagernde Luft in eine zunächst nach Norden und dann nach Westen gerichtete Bewegung hineingerissen. Allmählich beteiligen sich an dieser Bewegung auch die Luftmassen über dem südlicheren Teil von Mitteleuropa, d. h. über den Alpenländern — vorausgesetzt immer, dass das oben erwähnte Minimum im wesentlichen auf derselben Stelle verharret. Die Folge ist, dass die bisher über den Alpengipfeln ruhig gelagerte Luft nach Norden oder Nordwesten abströmt und sich hierbei ganz naturgemäss in die Thäler und Schluchten hinunterstürzt. Während also die Bora ein Fallwind ist, der von oben nach unten geschoben wird, wird der Fönwind direkt nach unten gesaugt, also gezogen. Bei dieser Bewegung der Luftmassen in die engen Schluchten und Thäler hinab wird eine grosse Menge Bewegungsenergie in Reibung, also in Wärme umgesetzt, und so ist es eine direkte Folge der Bewegung, dass die unten anlangenden Luftmassen viel wärmer sind, als sie früher während der ruhigen Lagerung über den Gipfeln waren — der Fön muss sich als warmer Fallwind darstellen.

Auch die grosse Trockenheit des Föns lässt sich im Anschluss hieran erklären, wenn man bedenkt, dass sie erst nach und nach ihre aussergewöhnliche Höhe erreicht, und zwar gewöhnlich erst dann, wenn auch die jenseits der Berge lagernde Luft an der Bewegung teilzunehmen beginnt. Denn wenn auch der Fön, als Windbewegung gedacht, ohne Mitwirkung der über der andern Gebirgsseite befindlichen Luftmassen entsteht, so müssen doch naturgemäss später diese Luftmassen mit in die Bewegung hineingezogen werden — die Luft an der Rücklehne der Berge steigt in die Höhe; die Berghäupter wirken als Kondensatoren und entziehen der Luft den grössten Teil ihres Wasserdampfes in Form gewaltiger Regengüsse. Hat also diese von der Rückseite der Bergkette stammende Luft die Gipfel überstiegen, so ist sie aussergewöhnlich trocken und wird in diesem Zustande dem eigentlichen Fönwinde in die Thäler nachgesaugt. So erklärt sich, dass der Fön den Charakter eines trocknen, heissen Sturmwindes trägt.

Es wurde erwähnt, dass alle Stürme als Cyklonen oder Teile davon aufzufassen sind. Muss man also alle Stürme als Wirbelbewegungen erklären, so unterscheidet man doch besondere Wirbelstürme.

Hierher gehören z. B. die gefürchteten Wirbelstürme des westindischen und indischen Meeres, bei denen eine rasende Drehbewegung der Luft um ein Zentrum gefunden wird. Die Luft weht nördlich vom Äquator aus Süden über Osten nach Norden und Westen, also entgegen dem Doveschen Drehungsgesetz.

Das Herannahen des Wirbelsturmes wird durch rasches Fallen des Barometers angezeigt. Das Barometer erreicht seinen tiefsten Stand, wenn die Mitte des Wirbels über den Ort der Beobachtung wegzieht.

Die Geschwindigkeit, mit der der Wirbel fortschreitet, wird für die westindischen Cyklonen auf 25—35 km in der Stunde angegeben. In höheren Breiten wächst die Geschwindigkeit des Voranschreitens, dagegen verringert sich die Heftigkeit der Wirbelbewegung.

Solange der Wirbel in der Passatzzone verweilt, schreitet er in der Richtung von Südost nach Nordwest fort, beim Verlassen der Passatzzone aber, zwischen 20 und 30° nördlicher Breite, biegt er rechtwinklig in der Richtung Südwest nach Nordwest um.

Im Fortschreiten erweitert sich der Wirbel, wobei, wie gesagt, die Heftigkeit der kreisenden Bewegung abnimmt. Der Durchmesser des Wirbels, der in der heissen Zone 100—500 km beträgt, wächst in höheren Breiten bis auf 2000 km.

Über dem Wirbel, ihn nach allen Seiten überragend, lagert sich eine dunkle Wolke, die sich am Horizonte als schwarze Bank zeigt und den Schiffer schon aus grosser Entfernung warnt.

Was nun die Stürme Europas anlangt, so unterschied Dove:

1. Wirbelstürme, die ein vom Atlantischen Ozean hereinziehendes barometrisches Minimum begleiten.
2. Stürme, die dadurch entstehen, dass einer der beiden Hauptwinde, Äquatorialstrom oder Polarstrom, zur Stärke und Geschwindigkeit eines Sturmes anwächst.

Die grosse Mehrzahl der Stürme besteht — so lehrt Dove weiter — auch in Europa aus Wirbelstürmen oder Cyklonen, nicht aus Luftströmen, die sich stetig nach einer Richtung fortbewegen.

Was die zweite hier genannte Klasse der Stürme betrifft, so giebt es nach dem genannten Forscher zwei Möglichkeiten, unter denen die beiden Hauptwinde bis zur Geschwindigkeit des Sturmes anwachsen können. So kann der Äquatorialstrom auf seinem Wege nach Norden in ein immer engeres Bett zwischen zwei entgegen-

kommenden Polarströmen eingezwängt werden. Er nimmt in dem engen Bette eine immer grössere Geschwindigkeit an, um dieselben Luftmassen in der gleichen Zeit durch den gleichen Raum fortbewegen zu können. Eine weitere Einengung erfährt der Äquatorialstrom auch noch dadurch, dass der Raum zwischen zwei Meridianen an sich um so enger wird, je weiter man nach den Polen gelangt. So wird aus dem Äquatorialstrom ein Äquatorialsturm.

Weiter kann der Äquatorialstrom über Europa dahinziehen, während im Westen davon der kältere und dichtere Polarstrom sich bewegt. Dieser stürzt sich nun in den luftverdünnten Raum des Äquatorialstroms von NW her hinein und erzeugt Stürme, die besonders in der Nordsee gefürchtet sind.

Schliesslich ist durch Wechselbeziehung des Äquatorial- zu dem Polarstrom noch eine dritte Art von Stürmen möglich, die nach Dove als Stauwürme bezeichnet werden; sie treten hauptsächlich in Osteuropa auf. Hierbei stösst der Äquatorialstrom gegen den Polarstrom; nordwärts einer von West nach Ost gezogenen Linie entsteht ein barometrisches Maximum. Behält in diesem Andrängen der Äquatorialstrom die Oberhand, so entsteht im Winter Tauwetter; erlangt der Polarstrom das Übergewicht, so verdichtet er den Wasserdampf des Äquatorialstromes zu Schnee — gewaltige Schneestürme sind die Folge. — —

Heute sieht man, wie schon gesagt ist, alle Stürme als Cyclonen oder als Teile davon an.

Eine besondere Art von Wirbelstürmen sind die Wetterssäulen und Tornados. Es sind dies Luftwirbel von sehr beschränkter Ausdehnung, deren Bewegung einer Cyclone von Kreisform entspricht.

Die theoretische Form der Tornados ist diejenige eines Trichters mit langem gegen die Erdoberfläche sich sehr allmählich verjüngendem Rohr; in dieser Gestalt erscheint der um eine fast senkrechte Achse rasend schnell rotierende Luftcylinder. Diese Röhre schreitet in der gemässigten Zone der nördlichen Halbkugel gegen NO mit einer Geschwindigkeit von etwa 50 km in der Stunde fort und zerstört dabei alles, was auf ihrer Bahn liegt. Der Durchmesser der eigentlichen Tornadoröhre beträgt oft nur wenige Meter, und das ganze Zerstörungsgebiet des Tornados wird nur selten grösser als 1 km. Nach oben erstreckt sich der Trichter bis zu der untersten Wolken-schicht, die hierbei stets niedrig schwebt. Die weiter oben wehenden Luftströmungen werden von dem unten wütenden rasenden Luftwirbel nicht im mindesten beeinflusst. „Der ¹⁾ Trichter als ganzes hat vier verschiedene Bewegungen:

1) Nach Abercromby l. c.

1. Eine fortschreitende — gewöhnlich nordostwärts —, von unterschiedlicher Geschwindigkeit, die man aber im Durchschnitt auf 50 km schätzen kann.

2. Eine verwickelte Rotation. Der horizontale Teil dieser Rotation geht stets in einer der Bewegung der Uhrzeiger entgegengesetzten Richtung vor sich, d. h. in derselben Weise wie bei den gewöhnlichen Cyklonen. Hierzu kommt aber noch im Centrum des Cylinders ein gewaltiger, nach auswärts gerichteter Strom von Dampf und Staub, welcher den Trichter bildet; überdies scheinen zuweilen kleine Wolken an den Aussenseiten des Trichters herabzuschliessen, wenn sie in einiger Nähe desselben schweben. Man besitzt jedoch keine authentischen Beweise dafür, dass durch die eigene Kraft der niedergehenden Strömung je irgend ein Gegenstand bis zum Boden herabgeführt worden wäre. Die geringe absteigende Bewegung der kleinen Wolken ist wahrscheinlich nur als schwacher Wirbel aufzufassen, der infolge des heftigen Hinaufstürzens der Luft im Innern der Röhre entsteht.

3. Ein Hin- und Herpendeln des Trichters gleich dem Baumeln einer Peitsche oder eines Elefantenrüssels, obwohl im allgemeinen die Richtung der Röhre senkrecht bleibt.

4. Eine steigende und sinkende Bewegung, d. h. das Ende des Trichters hebt sich zuweilen vom Boden ab in die Höhe und senkt sich dann wieder; ein derartiges Aufundnieder wiederholt sich fort und fort. Dieses Spiel bewirkt eine recht merkliche Veränderung im Anblicke des Tornado. Ist das Ende des Trichters ein Stück über den Boden gehoben, so sieht sich das Ganze mehr zugespitzt an und richtet an den Orten, über welchen es vorbeizieht, verhältnismässig geringes Unheil an. Sowie dann der Trichter sich senkt, begiint auf der Oberfläche des Bodens ein Aufruhr: Die Bewegung steigt vom Boden allmählich in die Höhe, bis sie den niedersinkenden Scheitel des Trichters trifft, wo dann die ganze Erscheinung die Gestalt einer Sanduhr annimmt. Dies ist die gefährlichste und vernichtendste Form, weil die ganze Gewalt des Tornado auf den Boden übertragen wird.“

Über dem Tornado schwebt eine Wolke, deren Aussehen als dem eines dicken Rauches ähnlich beschrieben wird. Mit dem Tornado gleichzeitig treten stets Gewittererscheinungen und Regengüsse auf.

Der Winddruck, den der Tornado erzeugt, ist sehr schwankend; man beobachtete 80 bis 500 und mehr Kilogramm Druck pro Quadratmeter Fläche. So ist es nicht wunderbar, dass der Tornado steinerne Gebäude eindrückt, Brücken zerstört u. s. w. Der nach oben ge-

richtete Druck ist im Tornado kaum je schwächer, meist aber stärker als der horizontale.

Was die Geschwindigkeit des Tornado betrifft, so sind solche in horizontaler Richtung von über 130 km pro Stunde sicher beobachtet; in vertikaler Richtung (nach oben) scheinen Geschwindigkeiten bis über 200 km in der Stunde nicht selten zu sein.

Gelangen die Tornados an Gewässer, so bilden sich gewaltige Wasserhosen.

Kleine Tornados bezeichnet man als Tromben; dieselben werden auch Windsbraut und Windhose genannt. Auch sie erzeugen kleinere Wasserhosen, wenn sie über Wasserflächen dahinziehen.

Eine besondere, eigentümliche Art von Winden sind die sogen. Böen.

Man kann stets beobachten, dass der Wind mit zunehmender Stärke mehr und mehr das Bestreben zeigt, in einzelnen Stößen zu wehen, zwischen denen kleine Zeiträume relativer Windstille liegen. Diese Stöße werden mit jedem Einsetzen heftiger; sie werden zuletzt so heftig, dass sie mit einem Dröhnen gleich dem Donner eines schweren Geschützes losbrechen. Hieraus erklärt es sich, dass die Seeleute eine derartige Erscheinung als „Kanonenwind“ (blowing in great guns) bezeichnen. Solche Winde, die Böen, zerreißen die Segel und brechen die Masten; sie sind zerstörender als jeder noch so starke Sturm, der mit gleichmässiger Kraft weht.

Bei einfachen Böen wächst der Windstoss nicht immer bis zum Kanonenwind an; stets aber bricht er, nachdem er zuerst etwas nachgelassen hat, plötzlich mit einem heftigen Stosse los, der von Regen oder Hagel begleitet ist. Die ganze Erscheinung hält selten länger als 5 bis 10 Minuten an.

Über der Böe zieht ein dicker, scharf umgrenzter Cumulus dahin; die Böe bewegt sich ungefähr in gleicher Richtung wie der Wind, der währenddem auch seine Richtung nicht ändert. Die Böe hat die Gestalt eines unregelmässigen Streifens, der entsprechend der Windrichtung meist etwas in die Länge gezogen ist und nur eine kleine Strecke über die Erdoberfläche hinaufreicht. Weht eine heftige Böe, so steigt das Barometer plötzlich, anhaltend und sehr stark; erst nach ihrem Vorübergehen kehrt es auf seinen früheren Stand zurück.

Eine besondere Art von Böen sind die Gewitterböen; es sind dies ausserordentlich heftige Böen, die von einem oder einigen

wenigen Blitzen und Donnern begleitet sind. Im nördlichen Europa stellt sich diese besondere Art von Gewitterstürmen zumeist im Winter ein.

Wir fassen die Böe nach Günther in folgende Definition zusammen:

Die Böe repräsentiert ein der gewöhnlichen Zyklonalbildung nicht unterworfenen, selbständiges Windsystem. Die Front der Gewitterböe scheidet zwei in barischer und thermaler Beziehung gleich scharf von einander geschiedene Gebiete; die Richtung des herrschenden Windes steht senkrecht auf der Frontlinie (Isobare) und sie bestimmt die Bewegungsrichtung der Böe. Die Windbahn ihrerseits fällt genau in den Gradienten, d. h. sie bildet mit ihm den Winkel Null, der bei strenger Allgemeingültigkeit des Buys-Ballotschen Windgesetzes unmöglich wäre.

7. Atmosphärische Elektrizität.

Durch umfangreiche Messungen an den verschiedensten Punkten der Erde ist festgestellt worden, dass die Atmosphäre zu jeder Zeit — auch bei vollkommen heiterem Himmel — einen gewissen Grad elektrischer Spannung besitzt. Gewöhnlich besteht die Ladung der Luft bei heiterem Wetter aus positiver Elektrizität; bei starkem Winde pflegt die Spannung zu wachsen.

Auch Nebel und Wolken haben gewöhnlich eine positive Spannung, aber es giebt doch auch Beobachtungen genug, die beweisen, dass die Wolken stets dann negativ geladen sind, wenn sie sich demnächst in Regen verwandeln wollen. Palmieri stellte nach vielen Beobachtungen folgendes Gesetz auf:

Wo Regen fällt, zeigt sich in der Luft positive Elektrizität in beträchtlicher Menge; die Regenzone ist umgeben von einem Ring variabler Breite, in dem negative Elektrizität herrscht. Auf diese Zone folgt dann rundherum wieder eine positiv geladene Region — derart, dass die Spannung fällt mit wachsender Entfernung vom Platz des Regenfalls.

Die Ursache der atmosphärischen Elektrizität ist bisher keineswegs sicher festgestellt.

Manchen der aufgestellten Theorien ist eine gewisse Wahrscheinlichkeit nicht abzusprechen, so unter anderm der geistvollen Hypothese von Zöllner und W. Siemens, die als atmosphärische Elektrizitätsquelle die Sonne bezeichnen, von der aus die Elektrizität durch Einfluss auf die Erde und die sie umgebende Lufthülle

übertragen werde. Dennoch liegt die Wahrscheinlichkeit dieser und der sonstigen Theorien dem Verständnis bei weitem nicht so nahe wie die Annahme, dass es sich bei der Erzeugung der atmosphärischen Elektrizität um einen Reibungsvorgang handelt.

Nach Hoppe's Ansicht entsteht die Elektrizität dadurch, dass sich bei der Verdunstung der Wasserdampf an den festen Körpern der Erdoberfläche reibt. Für die Richtigkeit dieser Anschauung sprechen folgende eigentümliche periodische Schwankungen der Luftelektrizität: Unmittelbar vor Sonnenaufgang lassen sich nur eben Spuren von elektrischer Spannung in der Atmosphäre nachweisen; sogleich mit Sonnenaufgang aber fängt die Ladung der Luft sich an zu verstärken — nach Hoppe eben, weil die Sonnenwärme unverzüglich eine lebhaftere Verdunstung einleitet, die mit Reibung verbunden ist. Abends, wenn die Nebel sich erheben, ist wiederum gleichzeitig ein Anwachsen der Elektrizität zu beobachten¹⁾; nach Sonnenuntergang trocknen die Erdschichten rasch aus — Verdunstung und Reibung vermindern sich und damit auch der Grad der atmosphärischen Ladung.

Diese Hoppesche Anschauung scheint dem Verfasser — unter Würdigung aller Umstände — den grössten Anspruch auf Richtigkeit zu besitzen. Was nun die Ansammlung stärkerer Ladungen in der Atmosphäre und deren Entladung anlangt, so hat man sich die Entstehung dieser Erscheinungen, die man gemeinhin als Gewitter bezeichnet, etwa so zu denken:

Die Gewitterbildung wird eingeleitet dadurch, dass sich Gewitterwolken auftürmen. Es sind dies dunkle, schwarzblaue Cumulusmassen, die schnell an Umfang zunehmen, und deren Bildung unterhalb einer Decke von weissen, aus Eisnadeln bestehenden Wolken vor sich geht. Bei heissem Wetter erwärmen sich die unteren Luftschichten stark; sie werden leichter, und so entsteht eine energisch aufsteigende Luftsäule. Diese führt die in der warmen Luft reichlich vorhandenen Wasserdämpfe mit hinauf in die kälteren Höhen, wo sie sich plötzlich kondensieren und die Bildung von Cumuluswolken veranlassen.

Die elektrische Spannung in den Gewitterwolken erklärt man sich dann — abgesehen von der Hoppeschen Hypothese — gewöhnlich so: Der lebhaft aufsteigende Luftstrom nötigt die unteren Haufewolken, sich nach oben zu bewegen und die Schicht der Eiswolken zu durchbrechen. Versuche haben nun ergeben, dass, wenn Wasser-

1) Nach Beobachtungen von Humboldt und Kiessling kann die kräftige atmosphärische Elektrizität, die sich mit dem Aufsteigen der Abendnebel bildet, sogar zur Entstehung von Flächenblitzen führen, ohne dass Gewitter vorhanden sind.

tröpfchen sich an Eis reiben, beide Körper elektrisch werden, und zwar wird das Eis positiv, das Wasser negativ elektrisch. So ist es denkbar, dass die Reibung bei dem raschen Vorbeiströmen der Wassertröpfchen des Cumulus an den Eisnadeln des Cirrus die Wassertröpfchen der Haufenwolken negativ und die Eisnadeln der Federwolken positiv elektrisch macht.

Der Gewittercumulus enthält also freie Elektrizität und übt eine verteilende Fernwirkung aus. Die Verteilung äussert sich sowohl gegenüber der Erde als auch gegenüber den in der Nähe befindlichen Wolken. Das Überspringen des elektrischen Funkens, den wir als Blitz bezeichnen, findet jedesmal dann statt, wenn die zwischenliegende Luftschicht — als Isolator — der Vereinigung der Elektrizitäten keinen genügenden Widerstand mehr zu leisten vermag. Sind nämlich die einzelnen Wassertröpfchen des Gewittercumulus elektrisch geladen, so vergrössert sich die Spannung dadurch, dass die kleinen Einzeltröpfchen zu grösseren Regentropfen zusammenfliessen — die über viele Tröpfchen verbreitete Elektrizität wird auf weit kleinere Flächen zusammengedrängt¹⁾ und verstärkt.

Die Ausgleichung der entgegengesetzten Elektrizitäten durch Blitze kann zwischen Wolke und Wolke oder zwischen Wolke und Erde stattfinden. Der herabfallende Regen ist negativ elektrisch und bewirkt, dass die Erde ebenfalls beständig schwach negativ elektrisch ist. — Es sei nochmals daran erinnert, dass die Luft bei heiterm Wetter positive Spannung zeigt.

Die Gewitterwolke geht, sobald der Regen niederströmt, in den eigentlichen Nimbus über. Gewitter ohne begleitenden Regen sind ausserordentlich selten. Schnee wird bei Gewittern nicht häufig beobachtet; dagegen ist Hagelschlag während eines Gewitters sehr gewöhnlich. Ja, wenn auch selbstverständlich Gewitter ohne Hagel vorkommen kann, so beobachtet man doch kaum einen wirklichen Hagelschlag ohne begleitende Gewittererscheinungen.

1) Die Oberfläche einer Kugel ist $= 4 r^2 \pi$. Die Oberfläche einer Kugel vom Radius 1 ist gleich 4π . Zwei einzelne derartige Kugeln gleichen Durchmessers haben also zusammen eine Oberfläche $= 8 \pi$. Der Inhalt jeder solchen Kugel ist $= \frac{4}{3} \pi$. Fliessen zwei solche Kugeln zusammen, so bilden sie zusammen eine Kugel vom Inhalt $\frac{8}{3} \pi$; der Radius dieser Kugel ist gleich $\sqrt[3]{2} = 1,26$. Die Oberfläche dieser neu gebildeten Kugel ist also $1,26 \times 1,26 \times 4 \pi = 6,35 \pi$. Die Oberfläche der durch Zusammenfliessen der beiden kleineren Kugeln entstandenen grösseren Kugel ist mithin viel kleiner ($6,35 \pi$), als die Summe der Oberfläche beider Einzelkugeln (8π). Da sich nun die statische Elektrizität stets nur auf der Oberfläche des geladenen Körpers anhäuft, so wird sie auf einen um so kleineren Raum zusammengedrängt werden, je mehr von den kleinen Wassertröpfchen zu grossen Regentropfen zusammenfliessen.

Hinsichtlich der Häufigkeit der Gewitter kann man von einer täglichen und von einer jährlichen Periode sprechen. Am häufigsten treten Gewitter im Verlaufe des Nachmittags, am seltensten während der Nacht auf. Dies gilt aber nur für den Sommer; in der kalten Jahreszeit scheint keine Tageszeit begünstigt zu sein.

Der Winter giebt überhaupt nicht so leicht zu starken elektrischen Spannungen in der Atmosphäre Veranlassung. In der gemässigten Zone sind Sommergewitter die Regel, Wintergewitter eine seltene Ausnahme. Für Island und Schottland sind dagegen Wintergewitter das gewöhnliche und Sommergewitter seltner. In der Tropenzone fallen die täglichen Gewitter mit dem höchsten Stand der Sonne zusammen. In dem Grade, wie die Gewitter häufiger werden, verringert sich die Gefahr des Einschlagens derart, dass sie in der heissen Zone überhaupt kaum mehr besteht. Dagegen sind die Wintergewitter sehr gefährlich, und namentlich die von Schnee begleiteten Gewitter entladen sich in Form ausserordentlich heftiger, zerstörend wirkender Blitzschläge.

Man unterscheidet zwei Klassen von Gewittern, die scharf zu trennen sind, nämlich 1. Wärmegewitter oder lokale Gewitter und 2. Depressionsgewitter oder Wirbelgewitter.

Wärmegewitter entstehen über einer nicht sehr ausgedehnten Stelle der Erde, wenn diese durch anhaltende Hitze aussergewöhnlich stark erwärmt ist. Es bilden sich grosse Mengen von Wasserdämpfen, die wegen der herrschenden Windstille in derselben Gegend verharren. Immer mehr Wärme sendet der heisse Erdboden nach oben; ein lebhaft aufsteigender Luftstrom und die Bildung von Gewitterwolken sind die Folge. Ein solches Wärmegewitter kann zur Sommerzeit an heissen Nachmittagen entstehen, ohne dass irgend eine Wetterkarte, irgend ein meteorologisches Anzeichen es vorausszusehen gestattete. Übrigens pflegt dem Wärmegewitter im allgemeinen keine anhaltende Verschlechterung der Witterung zu folgen. Gewöhnlich sind die Wärmegewitter nicht besonders heftig; eine Ausnahme von dieser Regel machen nur die täglichen Tropengewitter, die ebenfalls zu den Wärmegewittern gehören und sich doch gewöhnlich durch ungewöhnlich starke elektrische Entladungen auszeichnen.

Depressionsgewitter bilden sich in einer Gegend, über der der Luftdruck geringer ist als ringsumher; sie entstehen also dort, wo ein barometrisches Minimum, eine Depression lagert. Auf der Südseite einer Depression treten die von Süden kommenden warmen und dampfreichen Luftmassen in dieselbe ein und steigen wegen ihrer Leichtigkeit schnell empor. Nicht jedes fortschreitende barometrische Minimum bringt ein Gewitter zu stande, vielmehr ge-

schiebt dies nur, wenn der grosse Luftwirbel — die Cyklone — einen warmen und einen kalten Luftstrom durcheinander treibt. Zu den Depressionsgewittern gehören die Wintergewitter, besonders in Frankreich und Norwegen, und die weit ausgebreiteten Sommergewitter, die sich über ganze Länder erstrecken.

Ist eine Gewitterwolke zum Hagelschlage disponiert, so verrät sich diese Eigenschaft gewöhnlich schon durch ihr Aussehen. Es wurde schon früher erwähnt, dass die Hagelwolke durch eine eigentümlich weisse bis rötlichweisse Farbe ausgezeichnet ist, und dass zungen- oder hakenförmige Fortsätze von ihr ausgehen. Zuweilen senkt sich eine solche Zunge, ähnlich einer Trombe, bis nahe an die Erdoberfläche hinab.

Das Entladungssymptom der stark gespannten atmosphärischen Elektrizität, der Blitz, ist eine recht vielgestaltige Erscheinung. Man unterscheidet Linienblitze, Flächenblitze und Kugelblitze.

Die Linienblitze, auch Zickzackblitze genannt, ähneln den Funken, die durch eine Elektrisiermaschine oder ein grosses Induktorium erzeugt werden; häufig erinnert ein solcher Blitz an einen Baumast, von dem seitlich feine Verzweigungen ausgehen. Dass der Linienblitz einen zickzackförmigen, baumartigen oder verzweigten Weg wählt, erklärt sich wie folgt: Bei seinem Lauf treibt der Blitz die in seiner Schlagrichtung liegende Luft vor sich her und verdichtet sie; sie wird so zu einem schlechteren Leiter, und der Blitz springt nach der Seite ab, wo die weniger dichte Luft ihm geringeren Widerstand leistet — bis wieder dort die Luft verdichtet ist, und der Blitz aufs neue die Richtung wechselt. Dass die ganze Bahn des Linienblitzes gleichzeitig leuchtet, liegt daran, dass der intensive Lichteindruck des Blitzes in unserm Auge noch so lange nachhallt, bis der Blitz die ganze Bahn durchmessen hat. Der Zickzackblitz schlägt gewöhnlich von der Wolke zur Erde über. Bei den seltneren Linienblitzen, die zwischen mehreren sehr weit von einander entfernten Wolken überspringen, erreicht die Blitzbahn unter Umständen eine ungewöhnliche Länge, die 10 km und mehr betragen kann.

Die Flächenblitze, auch Flammenblitze genannt, sind viel häufiger als die Zickzackblitze. Bei ihnen leuchtet plötzlich ein grosser Teil der Wolkenflächen, ähnlich in der Tiefe lodernden Flammen, auf. Die Elektrizität strömt hierbei als sogenanntes Büschellicht von Wolke zu Wolke. Entgegen dem Linienblitz ist der Flächenblitz nur von sehr schwachem Donner begleitet, oder der Donner fehlt ganz.

Sehr selten sind die Kugelblitze, die eine grössere Dauer haben als die übrigen Arten des Blitzes¹⁾; sie erscheinen als feurige Kugeln, die mit mässiger Geschwindigkeit auf die Erdoberfläche herabsinken, und explodieren auf derselben mit verheerenden Wirkungen. Die Kugelblitze sind so selten, dass man noch in neuester Zeit ihre Existenz überhaupt bezweifelt hat. Dass aber Kugelblitze wirklich vorkommen, zeigt eine Mitteilung im Prometheus²⁾, die neueste und zuverlässigste, die Verfasser auffinden konnte. Danach wurde ein Kugelblitz am 5. Juni 1897 in der Schule zu Lauterburg bei Weissenburg (Elsass) beobachtet. Der Lehrer der dortigen Schule schreibt darüber:

„Der Nachmittag genannten Tages war gewitterschwül. Um 2 Uhr ungefähr fing es an zu donnern und zu blitzen. Jedoch war das Gewitter nicht allzu heftig und nur von wenigem Regen begleitet, auch schien es nicht in nächster Nähe zu sein. Auf einmal trat durch das Oberlicht eines der beiden hinteren Schulfenster, welches während des Gewitters nicht geschlossen war, eine schöne, hochgelb leuchtende, feuerige Kugel, in der Grösse einer Mannesfaust, langsam in den Schulraum. Angsterfüllt, doch mäuschenstill, verfolgten die Kinder dieses Schreckbild. Da keine Zugluft vorhanden war, so zog es ebenso langsam, als es gekommen war, wieder ab. Kaum hatte es aber die freie Luft wieder erreicht, so vernahmen wir einen überaus heftigen, kurzen, ziemlich hellen Knall. Die ganze Erscheinung war ein Kugelblitz. . . . Nicht die geringste Spur von Beschädigung zeigte sich, und selbst die Schüler kamen mit dem blossen Schrecken davon.“ Nach weiteren Erhebungen des Kreisschulinspektors scheint sich die Feuerkugel in sehr langsamer Bewegung nicht viel mehr als $\frac{1}{2}$ m zum Oberlicht hineinbewegt zu haben. Ein auf der Strasse stehender Augenzeuge sagte aus, dass bei der Explosion der Boden vor der Schule ganz „mit Feuer bedeckt“ war. —

Schlägt der Blitz ein, so trifft er die höchsten und die am besten leitenden Gegenstände, und er folgt den besten Leitern der Elektrizität, bis er ins feuchte Erdreich gelangt. Die Wirkungen des Blitzes ähneln den Wirkungen einer gewaltigen elektrischen Batterie: Er durchbohrt und zersplittert schlechte Leiter; er entzündet brennbare Stoffe, wenn er durch schlechter leitende Stellen erheblichen

1) Als eine besondere Abart des Kugelblitzes mag der bis jetzt nur in einigen wenigen Fällen beobachtete Perlenblitz betrachtet werden, der nach einem von Planté herrührenden Photogramme wirklich wie eine leuchtende Perlenschnur aussieht.

2) Prometheus, Jahrg. IX. 272.

Widerstand findet; er schmilzt dünne Metallmassen; er betäubt oder tötet lebende Wesen.

Die Gefährlichkeit des Blitzschlages ist allgemein bekannt; doch muss man unterscheiden zwischen den eigentlich zündenden Blitzschlägen und den sogenannten kalten Schlägen, die nur mechanisch zerstörend wirken. Es kann kaum einem Zweifel unterliegen, dass die Blitzschläge einem eigenartig periodischen Wechsel unterworfen sind, denn es ist festgestellt, dass in gewissen Jahrzehnten die Blitzgefahr weit geringer ist als in andern. Genau sind die Ursachen dieser Schwankungen in der Zahl der zündenden Blitzschläge noch nicht festgestellt, doch hat man eine gewisse Beziehung zwischen der Zahl von Gewittern und den Veränderungen der Sonnenflecke gefunden; auch beobachtet man, dass einem Maximum der Sonnenflecke ¹⁾ im allgemeinen ein Minimum von zündenden Blitzen entspricht und umgekehrt. Nach andern Ansichten hat man freilich überhaupt nicht mehr auf eine Abnahme, sondern nur noch auf eine Zunahme der Blitzschläge zu rechnen. An dieser vermehrten Häufigkeit, ebenso wie an der vermehrten Heftigkeit der Gewitter soll der Umstand schuld sein, dass die Menge der Fabriken und technischen Anlagen sich stets vermehrt, dass diese die Luft mit allen möglichen Verbrennungsprodukten anfüllen und direkt eine erhebliche Steigerung der atmosphärischen Elektrizität herbeiführen.

Ist die Entstehungsstelle des Blitzes nicht sehr weit entfernt, so wird er begleitet von einer akustischen Erscheinung, dem Donner. „Der Donner“ ²⁾ ist im grossen dasselbe wie das Knistern, das jeden elektrischen Funken begleitet; er entsteht dadurch, dass der Blitz die Luftmassen heftig erschüttert; sie werden durch ihn auseinander geworfen und stürzen darauf gegen einander. Der Donner erscheint, wenn der Blitz nahe bei uns einschlägt, als ein einfacher Donnerschlag, als ein kurzer, greller Knall. Ist der Blitz entfernter, so hören wir den Donner rollen; dies Rollen hat darin seinen Grund, dass von den entfernten Teilen in dem Wege des Blitzes der Donner später zu unserm Ohr gelangt, als von den näheren Punkten; ausserdem

1) Die Häufigkeit und Intensität der Sonnenflecke wechselt unaufhörlich; man hat eine Periodizität der Sonnenflecke ermittelt, und zwar ist die Dauer der Sonnenfleckenperiode — also die Zeit, nach der diese Flecke in derselben Verteilung über die Sonnenoberfläche wiederkehren — zu 11,111 Jahren bestimmt worden.

2) Nach Crüger l. c.

bewirkt das Echo eine Verlängerung des Donners¹⁾. Obwohl Donner und Blitz gleichzeitig sind, hören wir den Donner später, weil die Geschwindigkeit des Schalles nur 333 m, die des Lichtes gegen 42 000 geographische Meilen in der Sekunde beträgt. Soviel Sekunden daher zwischen Blitz und Donner verfließen, soviel mal 333 m ist der Blitz entfernt²⁾. Selten hört man den Donner weiter als 30 km, weil die oberen, verdünnten Luftschichten den Schall weniger gut leiten.“

Als ein sehr weit entferntes Gewitter fasst man meistens das Wetterleuchten auf. Lange war man darüber im Zweifel, ob es sich dabei um eine Art von Flächenblitz, um einen unvollkommen entwickelten Blitz anderer Gattung oder endlich nur um einen Widerschein, um den Reflex weit entfernter Blitze handele. Jetzt ist allgemein die letzte Ansicht als richtig anerkannt. —

Gehen die Gewitter tief, so zeigt sich oft ein Büschellicht, d. h. ein leuchtendes Ausströmen der an der Erdoberfläche durch Verteilung und Anziehung frei gewordenen Elektrizität auf Bäumen, Kirchtürmen, Masten u. s. w.; die Erscheinung ist unter dem Namen Elmsfeuer bekannt.

8. Die Schall-, Licht- und Wärmeleitung der Luft.

Zum Schlusse des Abschnittes „Physik der Luft“ haben wir uns noch mit einigen vermittelnden Eigenschaften der Atmosphäre zu beschäftigen, nämlich mit der Leitung der Schall-, Licht- und Wärmeschwingungen.

Was den Schall anlangt, so pflanzt er sich durch die Luft sowie auch durch elastische feste und flüssige Körper fort, nicht dagegen wird er durch den leeren Raum, durch den sogenannten Äther, der jenseits der Lufthülle unserer Erde liegt, weiter geleitet.

Die Physik lehrt, dass der Schall durch eine schnelle schwingende Bewegung oder Erschütterung eines Körpers erzeugt wird, wobei der Körper dem festen, dem flüssigen und dem gasförmigen Aggregatzustand angehören kann. Damit wir aber einen

1) Die Zurückwerfung der Schallwellen beim Rollen des Donners kann von den Begrenzungsflächen der Wolken oder auch von benachbarten Bergabhängen her geschehen.

2) Hierbei ist die Zeit, die das Licht braucht, nicht mit berücksichtigt. Wenn man die Entfernungen zwischen der Entstehungsstelle des Blitzes und der Erde mit der ungeheuren Geschwindigkeit des Lichtes vergleicht, so sieht man, dass die Zeit für das Licht dabei gar nicht in Betracht kommt.

Schall vernehmen, ist ausser seiner Erzeugung noch ein Körper nötig, der die Bewegung, die wir Schall nennen, bis an unser Ohr leitet und auf dasselbe einwirken lässt. Meistens dient als ein solcher vermittelnder Körper, als Schalleiter, die Luft: Durch die schnelle Erschütterung werden einzelne Luftteilchen verdichtet. Wegen ihrer Spannkraft dehnt die verdichtete Luftmasse sich aus und verdichtet dadurch die benachbarten Luftteilchen; diese bewegen, indem sie sich ebenfalls ausdehnen, die ihnen nächsten Luftteilchen, und so schreitet die Verdichtung immer weiter fort. „Wie ¹⁾ aber ein Pendel seine Ruhelage überschreitet, so dehnt sich auch die ursprünglich verdichtete Luftmasse zu stark aus, sie nimmt bei der Ausdehnung nicht die gewöhnliche Dichtigkeit an, sondern bildet einen luftverdünnten Raum. Die benachbarten Luftteilchen, die sich vorwärts bewegt haben, kehren in denselben zurück, bewirken aber hinter sich eine Verdünnung und in diese kehren, wieder eine Verdünnung hinter sich bewirkend, die folgenden Luftteilchen zurück. Eine solche Verdichtung der Luft samt der darauf folgenden Verdünnung bildet eine Schallwelle oder, da die Luftteilchen dabei einen Hingang und einen Hergang ausführen, eine Schwingung (*Oscillation* oder *Vibration*). Die Dicke einer verdichteten und die einer verdünnten Luftschicht machen zusammen die Länge einer Schallwelle aus. Die Schallwelle verbreitet sich bis an unser Ohr und wirkt auf dasselbe ein, indem sie die innern Teile desselben in Bewegung setzt.“

Der gewöhnliche Schalleiter ist die Luft, weil sich eben die schallenden Körper und das Ohr in der Luft befinden. Die Erfahrung zeigt, dass die Schallstärke um so bedeutender wird, je dichter die Luft ist. Die in einer Taucherglocke (in verdichteter Luft) befindlichen Personen reden ganz leise mit einander, weil jeder Schall ohnedies stark hörbar ist. *Parey* erzählt, dass in den arktischen Regionen bei einer Kälte von 30° unter 0 — also bei sehr stark verdichteter Luft — zwei eine Viertelmeile voneinander entfernte Personen bequem miteinander sprechen konnten. Dünne Luft leitet den Schall dagegen nur schwach. So erklärt sich die Erscheinung, dass auf hohen Bergen und in hoch gestiegenen Luftballons die Stimme und überhaupt alle Geräusche weitaus schwächer gehört werden als in der Tiefebene.

Der Schall verliert an Stärke, wenn er bei seiner Verbreitung aus einem Körper in einen andern übergeht. So wird der Schall geschwächt, wenn die Luftmassen, durch die er dringt, verschiedene

1) Nach *Crüger* l. c.

Dichte haben; die verschieden dichten Luftmassen sind eben — physikalisch genommen — verschiedene Körper. Bei Tage sind fast immer verschieden erwärmte Luftmassen vorhanden, und so erklärt es sich, dass man tagsüber viel weniger deutlich hört als bei Nacht. Das trifft nicht nur zu für dicht bewohnte Orte, wo bei Tage mannigfaches Geräusch das Ohr abstumpft, sondern nach Humboldt's Versuchen auch für Einöden, weil eben die Luftmassen bei Nacht annähernd gleiche Dichtigkeit besitzen.

Dass Regen und Nebel gewissermassen den Schall verschlucken oder ihn mindestens schwächen, ist leicht erklärlich, da hier fremde Körper, Dampfbläschen oder Wassertröpfchen, offenbar die Fortpflanzung der Luftschwingungen hemmen.

Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft beträgt bei 0° 333 m in 1 Sekunde. Mit steigender Temperatur wächst die Geschwindigkeit und bei Temperaturerniedrigung nimmt sie ab, jedoch innerhalb enger Grenzen.

Alle Töne, welches auch immer ihre Höhe oder Tiefe, ihre Intensität und ihr Klang sein mag, verbreiten sich in der Luft mit gleicher Geschwindigkeit; denn wenn verschiedene Beobachter in verschiedenen Entfernungen das gleiche Musikstück anhören, so nehmen sie genau denselben Takt, dieselbe Harmonie.

Der luftleere Raum ist nicht befähigt den Schall fortzupflanzen, und so ist auch die akustische Belegung der Erde und ihrer Organismen an das Vorhandensein der Atmosphäre geknüpft.

Auch mit dem Licht oder, richtiger gesagt, mit der Erleuchtung unserer Erde steht die Atmosphäre im engsten Zusammenhang. Hartwig schreibt in seinem „Leben des Luftmeeres“: „Bedenken wir, dass die Luft sich Meilen hoch über unserm Haupte ausdehnt, und dass durch diese ganze ungeheuerere Masse hindurch das Licht der Gestirne mit dem hellsten Glanze zu uns dringt, so bedarf es wohl kaum der Bemerkung, dass sie zu den durchsichtigsten Körpern gehört, die wir kennen. Senken wir unsere Blicke zum Horizont, so sehen wir bei dunstfreier Atmosphäre die Umrisse der fernsten Gebirge scharf am blauen Himmel sich abzeichnen, und das Teleskop rückt uns das Meilenweite so deutlich vor das Auge, als ob nicht eine enorme Luftschicht uns von dem uns so nahe scheinenden Bilde trennte.“

Dennoch ist die Luft zwar sehr, aber nicht vollkommen durchsichtig. Das beweist jeder Ausblick auf eine Landschaft: Im Vordergrund sind die Begrenzungslinien und die Farben am schärfsten

und klarsten ausgeprägt; im Mittelgrund nimmt die Bestimmtheit der Konturen schon ab, und im Hintergrund schliesslich ist alles verwaschen und mit einem zarten blauen Schleier überzogen. Es sind dies die drei Stufen der Luftperspektive.

Die unvollkommene Durchsichtigkeit der Luft beruht auf einer teilweisen Zurückwerfung der Lichtstrahlen durch Staubteilchen, Wasserdampfbläschen (Nebel) und durch die Luftteilchen selbst. Die Durchsichtigkeit der Luft ist eben nur ein relativer Begriff. Seitdem es gelungen ist, die atmosphärische Luft und den Sauerstoff zu verflüssigen, lässt sich die Vermutung nicht zurückweisen, dass die Farbe des blauen Himmels auf eine Färbung der blauen Luft zurückzuführen ist. So gut wie der Sauerstoff im flüssigen Zustand eine stahlblaue Farbe besitzt, so gut wie flüssige Luft einen Stich ins Blaue zeigt — ebenso gut kann man sich denken, dass auch die gasförmige Luft diese blaue Farbe besitzt, wenn auch nur in Schichten gewaltiger Ausdehnung.

Von der Reflexion der Lichtstrahlen in der Luft rührt auch die allgemeine Tageshelle her. Andernfalls müssten nur die Lichtseiten der Körper beleuchtet sein, die Schatten aber im tiefsten Schwarz verharren. Auch das scheinbare Himmelsgewölbe müsste alsdann ganz dunkel erscheinen, und mit dem Untergange der Sonne müsste völlige Finsternis eintreten. Auch die Dämmerung hängt damit zusammen: Vor Aufgang und nach Untergang der Sonne kommen nur Lichtstrahlen zu uns, die durch die Luft reflektiert sind. Die Strahlen der im Zenith stehenden Sonne durchlaufen offenbar innerhalb der Atmosphäre den kleinsten Weg bis zu uns; je tiefer die Sonne steht, desto grösser wird dieser Weg, desto mehr müssen wegen der unvollkommenen Durchsichtigkeit der Luft die zu uns kommenden Strahlen geschwächt werden.

Die Lichtwellen sind von den Schallwellen dadurch grundsätzlich unterschieden, dass sie zu ihrer Fortpflanzung der Luft nicht bedürfen. Fehlte also die Atmosphäre, so würde auf der Erde immerwährende Stille herrschen, aber die Erde könnte trotz allem noch beleuchtet sein, noch Sonnenstrahlen empfangen. Das hindert nicht, dass die optischen Erscheinungen auf der Erde grundlegend von der Atmosphäre beeinflusst werden: Ohne Luft wäre Morgen- und Abenddämmerung unmöglich; der Übergang von Tag zur Nacht und von Nacht in Tag würde plötzlich erfolgen, würde zusammenfallen mit dem Untergang und Aufgang der Sonne. Der Übergang von Licht und Schatten, das von den Luftteilchen nach allen Seiten hin zerstreute, aus dem ganzen Luftraum kommende Licht, das, wie gesagt, die Schattenseiten noch mit umflutet, würde uns fehlen. Dass der Himmel ohne Luft als ein vollkommen schwarzes Gewölbe er-

scheinen müsste, geht schon aus den Beobachtungen der Luftschiffer hervor, die mit steigender Höhe das Firmament immer dunkler und dunkler werden sehen und auf dem blauschwarzen Grunde auch bei Tage die Gestirne in hellem Glanze erblicken. —

Die die Erde umgebenden Luftschichten sind von ungleicher Dichte; sie sind im allgemeinen um so dichter, je näher sie der Erdoberfläche sind (vgl. Seite 43). Geht ein Lichtstrahl senkrecht durch Schichten von verschiedener Dichte, so wird er nicht gebrochen — die im Zenith stehende Sonne sendet uns ihre Strahlen in gerader Linie; wir sehen sie in ihrem richtigen Standort. Trifft aber ein Lichtstrahl schief auf die Trennungsfläche zwischen zwei Schichten ungleicher Dichte, so wird er beim Übergang in die dichtere Schicht gebrochen, und zwar gegen das Einfalllot hin. Deshalb gelangen die Lichtstrahlen, die von der nahe am Horizont stehenden Sonne herkommen, nicht in gerader Linie zu uns, sondern sie werden in der Weise gebrochen, dass sich der schräg eingefallene Strahl mehr der Senkrechten nähert, also mehr von oben herzukommen scheint. Da unserm Auge jeder Gegenstand in der Richtung der von ihm her zu uns gelangenden Strahlen zu liegen scheint, so sehen wir in diesem Falle die in der Nähe des Horizonts stehende Sonne zu hoch am Himmel. Wir erblicken also Sonne, Mond und Sterne schon über und noch über dem Horizont, während sie noch gar nicht aufgegangen oder schon wieder untergegangen sind.

Diese Art der Strahlenbrechung erstreckt sich auch auf irdische Gegenstände. So wird ein ansehnliches Schiff, eine weit entfernte Küste in täuschender Erhöhung schon sichtbar gemacht, während sie in Wirklichkeit noch unter dem Horizonte des Beobachters liegen. Derartige durch atmosphärische Strahlenbrechung veranlasste Hebungen bezeichnet man als *Kimmung*; bei der Bestimmung der geographischen Länge auf See spielt die *Kimmung* eine grosse Rolle und muss genau mit berücksichtigt werden.

Nichts anders als *Kimmung* sind auch manche Arten von Luftbildern (*Fata Morgana*), bei denen unter dem Horizont liegende Küsten, Schiffe u. s. w. hoch in die Luft gehoben und zugleich durch die unregelmässigen, schwankenden Grenzflächen der einzelnen Luftschichten abenteuerlich verzerrt und schwankend bewegt erscheinen. Die gewöhnliche Art der *Fata Morgana*, die eigentliche Luftspiegelung, entsteht übrigens nicht durch starke Brechung, sondern eben durch *Spiegelung*, durch totale Reflexion der Lichtstrahlen, teils auf dem Festland, hauptsächlich aber auf Wasserflächen. —

Weiter sind die farbigen Erscheinungen in der Atmosphäre zu erörtern: Morgen- und Abendröte entstehen durch kleine Wassertropfchen, die in der Atmosphäre schweben. Das noch wirklich

dampfförmige Wasser ist ganz farblos und durchsichtig; eine Beimengung von Wasserdampf erhöht die Durchsichtigkeit der Luft. Dagegen ist der in Form von Nebel oder Wolken kondensierte Wasserdampf keineswegs durchsichtig, sondern durchscheinend bis undurchsichtig. Dort nun, wo gerade eben der Dampf sich zu verdichten anfängt, wo also eine Nebelbildung beginnt, entstehen zuerst ausserordentlich kleine Wassertröpfchen. Dieser Zwischenzustand zwischen Wasserdampf und Nebel lässt hauptsächlich die roten und die orangefarbenen Lichtstrahlen durch. Solche sehr kleine Wassertröpfchen entstehen beim Untergang der Sonne aus dem atmosphärischen Wasserdampf, wenn die Luft sehr trocken ist.

Hat die Tageswärme ihren höchsten Grad überschritten, so kühlen sich Erdboden und Luft allmählich ab, und die Wasserdämpfe fangen an sich zu verdichten. Ist die absolute Feuchtigkeit der Luft nur gering, so bilden sich aus den kleinen Wasserdampfmengen bei Sonnenuntergang sehr kleine Tröpfchen; die Strahlen der untergehenden Sonne haben einen weiten Weg durch diese zurückzulegen, und nur die orangeroten Strahlen werden von den Wassertröpfchen durchgelassen — es bildet sich ein lebhaft gefärbtes Abendrot. Bei grosser absoluter Feuchtigkeit der Atmosphäre dagegen wird ein Teil der Dämpfe schon während des Nachmittags in Tröpfchenform ausgeschieden, also zu einer Zeit, wo die Sonnenstrahlen noch einen kleinen Weg durch die Atmosphäre zurückzulegen haben und daher fast nichts von ihrem weissen Licht verlieren. In solchem Falle sind die Wassertröpfchen zur Zeit des Sonnenunterganges schon grösser geworden, und ein mattes und gelbes Abendrot stellt sich ein, wie es als Vorzeichen kommenden Regens angesehen wird.

Umgekehrt etwa verhält es sich mit dem Morgenrot. Ein lebhaftes Morgenrot deutet darauf hin, dass die Luft sehr feucht ist — so feucht, dass schon in den frühen Tagesstunden ein Teil des Wasserdampfs in Form kleiner Tröpfchen ausgeschieden wird. Da aber die Verdunstung vom Erdboden und von den Gewässern in die Luft am Tage, also mit steigender Wärme, stets zunehmen muss, so betrachtet man mit Recht ein lebhaftes Morgenrot für ein Vorzeichen schlechten Wetters — man kann eben annehmen, dass die schon am frühen Morgen erhebliche Feuchtigkeit der Luft nach Hinzukommen der von der Tagesverdunstung herrührenden Dampfmenge so gross werden wird, dass eine Ausscheidung von Wasser in Form atmosphärischer Niederschläge im Laufe des Tages erfolgt.

Lebhaftes Morgenrot kündigt Regenwetter, lebhaftes Abendrot und Morgengrau künden schönes Wetter an.

Was das Aussehen des Himmelsgewölbes selbst anlangt, so wurde schon erwähnt, dass wahrscheinlich die Farbe des Sauerstoffs auf das Blau des klaren Himmels von gewissem Einfluss ist. Immerhin kommen noch andere Ursachen bezüglich des Aussehens des Himmels in Betracht. In erster Linie hängt dasselbe ab von der Menge und Grösse der in der Luft vorhandenen (ausgeschiedenen, also flüssigen) Wasserteilchen. Bei ausserordentlich trockener Luft, wie sie über hohen Bergen vorkommt und noch mehr während der trocknen Jahreszeit über den Festländern der Tropenzone, hat der Himmel ein fast schwarzes Aussehen, weil die wenigen Wasserteilchen nur wenig Licht zurückwerfen. Bei grosser absoluter Feuchtigkeit und wenn der Umfang der Wassertröpfchen steigt, erscheint der Himmel weisslich und bei noch weiterem Anwachsen der Feuchtigkeit von grauen Wolken umzogen.

Enthält die Luft eine nicht zu grosse Anzahl allerkleinster Wassertröpfchen, wie es bei klarem Wetter der Fall ist, so sieht der Himmel blau aus. Es liegt dies daran, dass die kleinsten Wasserteilchen blaues Licht zurückwerfen. Dass das Himmelsblau sich schöner in der Höhe nach dem Zenith, als nach unten gegen den Horizont hin darstellt, wird dadurch verursacht, dass in den unteren Luftschichten gewöhnlich etwas mehr und grössere Wassertröpfchen vorhanden sind als in der Höhe. —

Die schönste farbige Erscheinung der Atmosphäre ist der Regenbogen, d. h. ein kreisförmiger Bogen, der auf der äusseren Seite rot, auf der innern violett gefärbt erscheint und zwischen beiden die übrigen Regenbogenfarben zeigt. In seiner grössten Ausdehnung bildet der Regenbogen einen vollständigen Halbkreis; bei kleinster Ausdehnung bildet er nur ein kleines Stück eines Kreisbogens und wird dann Regengalle genannt. Damit der Regenbogen für einen Beobachter sichtbar wird, muss dieser so stehen, dass er die Wolke, woraus der Regen fällt, vor sich und die Sonne hinter sich hat.

Die Lichterscheinung des Regenbogens beruht auf der inneren Reflexion und der Zerlegung des Lichtes in einzelnen Wassertropfen. Im Prisma wie im Tautropfen wird das Licht in die einzelnen Spektralfarben zerlegt: Der in den Tautropfen einfallende Strahl wird von der dunklen Hinterwand des Tropfens zurückgeworfen und bei seinem Austritt in die Luft in die farbigen Einzelstrahlen verschiedener Brechbarkeit zerlegt. Je nach der Stellung des Beobachters sieht dieser einen der farbigen Strahlen, die vom sonnenbeschienenen Tautropfen herkommen; bei Änderung seiner Augenstellung kann er nach und nach alle Spektralfarben erblicken, aber in einer Stellung sieht er auch nur einen Strahl.

In der Regenwand befinden sich zahllose Wassertröpfchen in verschiedener Stellung, die gleichzeitig von der Sonne beschienen werden und Spektralfarben zurückwerfen. Da sie nun eine verschiedene Lage haben, so werden alle Regenbogenfarben auf einmal sichtbar gemacht: Die höher gelegenen Tropfen senden ihre untersten, d. h. roten Strahlen, die am wenigsten abgelenkt werden, in das Auge, während die andern, aus den gleichen Tröpfchen kommenden Strahlen weiter oben vorübergehen; die unteren Tropfen senden ihre oberen, d. h. die am meisten gebrochenen violetten Strahlen. Deshalb folgen die Farben im Regenbogen von aussen (oben) nach innen (unten): rot, orange, gelb, grün, blau, indigo und violett. Die kreisbogenförmige Gestalt des Regenbogens rührt daher, dass nur diejenigen Tropfen den gleichen Farbenstrahl in das Auge schicken, die sowohl zur Sonne als zum Auge dieselbe Lage haben. Das ist der Fall nur bei den Tropfen, die in einem Kreise oder einem Bogenstücke des Kreises liegen. Alle austretenden Strahlen einer Farbe, die in das Auge kommen, also alle Strahlen dieses Farbenkreises, bilden mit den Sonnenstrahlen denselben Winkel. Die von der Sonne auf die einzelnen Farbenkreise fallenden Strahlen bilden einen Kegel, und ebensolchen Kegel bilden auch die Strahlen, die von einem Farbenkreise ins Auge gelangen. Eine Linie, die von der Sonne durch das Auge gezogen wird, trifft den Mittelpunkt der gemeinsamen Grundfläche beider Kegel, d. h. den Mittelpunkt dieses farbigen Kreises.

Die Grösse des Regenbogens hängt vom Stande der Sonne ab, wie dies aus dem letzten Satz hervorgeht. Eine von der Sonne durch das Auge des Beobachters gedachte gerade Linie bestimmt eben stets den Mittelpunkt desjenigen Kreises, von dem der Regenbogen ein Bogenstück ist. Geht die Sonne gerade auf oder unter, so liegt die gedachte Linie, und mit ihr der Kreismittelpunkt, in der Ebene des Horizonts — der Regenbogen wird ein Halbkreis; er hat seine grösste Höhe von 42° . Mit steigendem Stande der Sonne vermindert sich die Grösse des Regenbogens; steht die Sonne über 42° hoch, so ist in ebener Gegend die Entstehung des Regenbogens unmöglich.

Häufig sieht man über dem Hauptregenbogen noch einen Nebenregenbogen, dessen Farben schwächer sind und eine entgegengesetzte Reihenfolge haben; hier liegt also violett nach aussen (oben) und rot zu innerst (nach unten). Der Nebenregenbogen umgibt den Hauptregenbogen konzentrisch; zwischen beiden liegt ein trennender Gürtel von etwa 8° Breite. Die Strahlen des Nebenregenbogens kommen aus Tropfen, die über dem Hauptregenbogen liegen; seine roten, inneren Strahlen bilden mit dem Sonnenstrahl einen Winkel von 50° , seine äusseren, violetten

Strahlen einen Winkel von 53° . Die Entstehung des Nebenregenbogens ist so zu denken, dass der Sonnenstrahl in den unteren Teil der Wassertropfen eintritt, dabei gebrochen wird, dann an dessen Hinterwand zweimal zurückgeworfen und beim Austreten aus dem oberen Teil des Tropfens zum zweiten mal gebrochen, also mehr nach unten abgelenkt wird. Infolge der Brechungen tritt eine Zerlegung in farbige Strahlen ein. Von den am höchsten liegenden Tropfen müssen hier die violetten Strahlen ins Auge gelangen. Weil bei jeder Zurückwerfung das Licht geschwächt wird, erscheinen wegen der zweimaligen Zurückwerfung die Farben des Nebenregenbogens gegenüber denen des Hauptregenbogens matt und verblasst.

Wir schliessen dieses Kapitel mit einigen Erörterungen über das Leitungsvermögen der Atmosphäre für die Wärme. Schon auf Seite 49 wurde darauf hingewiesen, dass mit die wichtigste Eigenschaft der Luft für die ganze organische Schöpfung ihr geringes Wärmeleitungsvermögen ist.

Die Verbreitung der Wärme kann durch Leitung und durch Strahlung erfolgen. Durch Wärmestrahlung wirkt die Sonne auf die Erdoberfläche und schafft und erhält dort alles Leben. Dabei wird die Lufthülle der Erde, die doch in der Bewegungsrichtung der Wärmestrahlen liegt, bei weitem nicht in demselben Masse erwärmt wie die Erdoberfläche selbst.

Von der erwärmten Erdoberfläche hat die Wärme das Bestreben, in dunkeln (nicht leuchtenden) Strahlen wieder nach dem Weltenraum hin zu entweichen. Aber während die Atmosphäre für die leuchtenden Wärmestrahlen, die ihren Weg von der Sonne zur Erde nehmen, sehr durchgängig ist, fehlt ihr diese Durchlässigkeit fast gänzlich gegenüber den dunkeln Wärmestrahlen. Diese werden von der Luft verschluckt; die der Erdoberfläche anliegenden Luftmassen erwärmen sich durch Leitung; sie halten die aufgenommene Wärme ziemlich fest und geben sie nur ganz langsam an die höheren Luftschichten und an den Weltenraum ab.

Das Wärmeausstrahlungsvermögen der Erdoberfläche ist um so mehr herabgesetzt, je dicker die darüber lagernde Luftschicht ist. Deshalb ist das Wärmestrahlungsvermögen auf hohen Bergen viel stärker als in der Tiefebene; die tagsüber aufgenommene Wärme strahlt auf Berggipfeln über Nacht wieder in den Weltenraum zurück — die Nächte sind auf Bergen kälter wie in der Ebene.

Klare Luft ist für die Wärmestrahlen immerhin noch weit mehr durchlässig als eine trübe, nebelige und von Wolken erfüllte Atmo-

sphäre. Deshalb kühlt sich die Erde in heiteren Nächten viel stärker ab als bei trübem Wetter. Es ist eben weniger noch die Luft, die die Wärmestrahlen absorbiert, als namentlich die Wasserbläschen in ihr.

Wäre die Ausstrahlung der Wärme von der Erdoberfläche nicht durch die Atmosphäre verzögert, gegenüber der von der Sonne herkommenden Wärmemasse, so wäre jedes Leben auf der Erde unmöglich — gleich dem Lichte würden die Wärmestrahlen von der Erdoberfläche wieder reflektiert werden, und ewiges Eis müsste alles bedecken.

9. Das Wetter.

(Meteorologische Schlussbetrachtungen.)

Als „Wetter“ bezeichnet man die Gesamtheit der zu einem Zeitpunkt in der Atmosphäre herrschenden Verhältnisse, also den Stand des Barometers, d. h. den Luftdruck, weiter die Luftwärme, drittens die Luftfeuchtigkeit, viertens die Bewölkung, fünftens die atmosphärischen Niederschläge, sechstens die Windverhältnisse und schliesslich die Erscheinungen der atmosphärischen Elektrizität. Praktisch sind die wichtigsten meteorologischen Faktoren: die atmosphärischen Niederschläge, die Winde und die Luftwärme.

Der ausserordentlich weittragende Einfluss, den das Wetter auf Menschen und Tiere, auf Pflanzen und leblose Gegenstände ausübt, erklärt es zur Genüge, dass man schon im Altertum nach Regeln suchte, die eine Vorherbestimmung des Wetters gestatten, und dass man solchen Wetterregeln auch bei den unzivilisiertesten Völkern begegnet. Die Bauernregeln und die Weisheitssätze des sogenannten hundertjährigen Kalenders sind Zeugnis dafür, dass auch heute noch weite Kreise sich auf solche Erfahrungssätze stützen; sie geben auch Zeugnis davon, wie wichtig die herrschende Witterung für allerlei Hantierung ist, wie bedeutsam die Vorhersage des Wetters sein muss.

Früh schon erkannte man indess, dass jene Wetterregeln ebenso oft fehl schlagen, wie sie eintreffen, dass dasselbe Vorzeichen bald Regen und bald heitere Witterung im Gefolge hat.

Fragen wir uns, ob die Meteorologie, einer der jüngsten Zweige der Geophysik und der Naturwissenschaften überhaupt, imstande ist, eine sichere Wetterprognose zu gewähren, so können wir nur mit vielen Einschränkungen zu einer bejahenden Antwort kommen.

Es hat sich herausgestellt, dass ein einzelner meteorologischer Beobachter, auch wenn er mit allen notwendigen Instrumenten versehen ist und regelmässige Aufzeichnungen der meteorologischen

Faktoren vornimmt, doch nur in ausserordentlich beschränktem Masse das Wetter im voraus zu bestimmen vermag, dass diese Beobachtungen nur für einen sehr kleinen Landstrich Geltung haben können und dass sie auch für diesen immer noch recht unsicher bleiben.

Eine weit grössere Beachtung verdienen die Wetterprognosen, die auf Grund der synoptischen Karten gestellt werden. Die synoptischen Karten sind Aufzeichnungen über einen der meteorologischen Faktoren — und zwar in erster Linie über den Luftdruck — denen für denselben Zeitpunkt an einer grossen Anzahl von Stationen angestellte Beobachtungen zugrunde liegen. Es werden also täglich mehrmals Isobarenkarten aufgestellt; die Aufstellung besorgen Centralstellen nach den telegraphisch einlaufenden Berichten der einzelnen Beobachtungsstationen. Ausser den Isobaren enthalten die synoptischen Karten noch vereinbarte Zeichen, um Windrichtung, Windstärke, Niederschläge, Bewölkung u. s. w. zum Ausdruck zu bringen.

Legt man derartige synoptische Karten der Wetterprognose zugrunde, so ist deren Resultaten eine ziemliche Wahrscheinlichkeit nicht abzuspochen. Trotzdem können Abweichungen vorkommen, trotzdem kann sich die Centralstelle in ihrer Wettervorhersage gänzlich täuschen, und eine Änderung hierin steht auch für absehbare Zeit keineswegs in Aussicht. Denn man hat erst in den letzten Jahrzehnten mit systematischen meteorologischen Aufzeichnungen begonnen, man lernt erst jetzt mehr und mehr den Zusammenhang zwischen den einzelnen Beobachtungsfaktoren und der Witterung kennen, und man ist noch weit davon entfernt, die Gesamtheit der gigantischen Vorgänge in der Atmosphäre, den ganzen Witterungsgang und seinen Zusammenhang mit den Wetterzeichen zu kennen.

Vor allem ist festzuhalten, dass jede Wetterprognose mit einiger Sicherheit nur für einen, für den nächstfolgenden Tag gestellt werden kann. Günther (l. c.) sagt: „Wir haben der Vorausbestimmung der Witterung zeitlich stets nur ein sehr bescheidenes Ziel gestellt, und nur verlangt, dass für den nächstfolgenden Tag der Wettercharakter nach seinen allgemeinen Zügen zutreffend erkannt werden soll. Wirklich werden wir uns damit auch noch für lange begnügen und sogar recht zufrieden sein müssen, wenn nur diese so eng begrenzte Frage einer immer exakteren Lösung wird entgegengeführt werden können.“

Wir haben aus sämtlichen Kapiteln des vorliegenden Abschnittes „Physik der Luft“ das Resultat abzuleiten, dass alle meteorologischen Veränderungen in letzter Linie nur auf Wärmeschwankungen

zurückzuführen sind. Denn davon hängt der Luftdruck, davon die Feuchtigkeit, die Wasserausscheidung (die Bewölkung und die atmosphärischen Niederschläge), die Winde und die elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre ab.

Da aber die Wärmeschwankungen der Atmosphäre ausserordentlich schwer vollständig zu übersehen sind, weil sie sich über die gesamte Luftpille der Erde und über alle Höhen in dieser erstrecken, und weil Wärmeschwankungen in dem einen Teil der Erde Witterungsänderungen in einem ganz andern Teil der Erde hervorrufen können, so benutzt man zur Beurteilung der kommenden Witterung in erster Linie das Barometer, d. h. man studiert den Luftdruck als denjenigen meteorologischen Faktor, der das erste Zwischenglied zwischen den Wärmeänderungen und dem Wetter darstellt.

Die zu gewissen Tagesstunden beobachteten Barometerstände sind es, die zu Isobarenkarten vereinigt, der Wetterprognose in erster Linie zu dienen haben. Da findet man denn, dass die Isobaren ganz besondere Formen annehmen, und dass man aus diesen Formen heraus einen Anhalt für das kommende Wetter gewinnen kann.

Abercromby (l. c.) sagt, dass man durch Vergleichung aller synoptischen Karten zu folgenden wichtigen, allgemeinen Sätzen gelangt:

1. Die Gestalten der Isobaren können im allgemeinen sieben gut bestimmte Formen annehmen.

2. Unabhängig von diesen Isobarenformen hält der Wind immer eine bestimmte Richtung zum Laufe der isobarischen Linien und zur Lage des nächsten Gebietes niedrigen Luftdruckes ein.

3. Die Geschwindigkeit des Windes ist immer nahezu proportional dem Abstände der Isobaren.

4. Das Wetter, d. h. die Wolkenform, Regen, Nebel u. s. w., hängt jederzeit von der Form und nicht vom Abstände der Isobaren ab, indem gewisse Isobarenformen mit schlechtem, andere mit gutem Wetter verbunden erscheinen.

5. Die Formen, die von den Isobaren gebildet werden, ändern fortwährend ihre Lage, sodass Wetteränderungen hervorgebracht werden durch die Änderung der Lage dieser Isobarenformen guten und schlechten Wetters, gerade so wie in einem kleineren Massstabe Regen beim Vorbeiziehen einer Böe fällt. Die Bewegung dieser Formen befolgt gewisse Sätze, sodass die Voraussage von Wetteränderungen möglich erscheint.

6. In der gemässigten Zone fällt zuweilen, in den Tropen regelmässig, Regen ohne merkliche Änderung in den Isobaren, obwohl der Wind dem obigen Gesetze dieser Linien gehorcht.

Die Beziehung der Windrichtung zu dem Laufe der Isobaren ist durch das Buys-Ballotsche Gesetz (vergl. Seite 85) festgelegt.

Die Stärke des Windes wird, wie uns ebenfalls schon (von Seite 86) bekannt ist, durch die Stärke des Gradienten regiert.

Es bleibt uns also von den nach Abercromby aus dem Vergleich der synoptischen Karten abgeleiteten Sätzen noch Nr. 1, 4, 5 und 6 zu behandeln.

Die sieben Grundformen der Isobaren sind aus nachstehender, dem Abercrombyschen Werke entnommener Fig. 5 zu ersehen.



Fig. 5.

Es ist dies eine Karte, die in diagrammatischer Zeichnung die Luftdruckverteilung vom 27. Februar 1865 über dem nordatlantischen Ozean, Europa und dem Osten der Vereinigten Staaten wiedergibt. Um das Auge nicht zu verwirren, sind die Küstenumrisse und die Linien der geographischen Länge und Breite weggelassen; man denke sich aber unterhalb der Figur den Äquator und oberhalb den Polarkreis als Begrenzung. Alle Barometerstände von weniger als 760 mm sind durch punktierte Linien dargestellt, sodass das Auge mit einem Blicke die Verteilung von hohem und niedrigem Drucke erkennt. Die sieben Isobarenformen sind:

1. *Cyklone*, d. h. also ein Gebiet niedrigsten Druckes, um welches herum die Isobaren ziemlich eng aneinander liegen. Der Name „Cyklone“ erklärt sich daraus, dass diese Form kreisförmig oder annähernd kreisförmig ist, und dass sich die Winde um die *Cyklonen* herum, wie wir wissen, in kreisförmiger Bahn (Wirbel = *cyclus*) bewegen. In Fig. 5 sind zwei *Cyklonen* vorhanden.

2. Sekundäre Depression oder Teilcyklone. In der Figur sehen wir eine sekundäre Depression gerade südlich von der linkseitigen der beiden Cyklonen. Diese Teilcyklone wird hier durch eine Isobare von 760 mm in halbkreisförmiger Ausbuchtung gebildet; diese Ausbuchtung umgrenzt ein Gebiet etwas niedrigeren Druckes. Die Sekundärdepression tritt meist in Begleitung der eigentlichen Hauptcyklone auf, hat auch deren Bewegung und manche Eigenschaften mit ihr gemeinsam. Aber sie kommt auch häufig für sich und an den Rändern von Anticyklonen vor, ohne dass eine Hauptcyklone auffindbar wäre.

3. Anticyklone. Die Anticyklone ist ein Gebiet hohen Druckes, um welches die Isobaren in ziemlich weiten Abständen verlaufen. Der Name ist deswegen gewählt, weil die Anticyklone in Bezug auf Wind, Wetter, Druck u. s. w. das Gegenstück zur Cyclone ist.

4. V-förmige Depression. Zwischen den beiden links gelegenen der drei Anticyklonengebiete schiebt sich eine V-förmige Depression ein, d. h. eine Isobare von 760 mm, innerhalb der niedrigerer Druck herrscht. Die V-Depression ist also eine besondere Bildungsform der Teilcyklone.

5. Der Keil. Zwischen den beiden Cyklonen der Figur biegt sich die Isobare von 760 mm aufwärts in Form eines umgekehrten V, also wie ein Keil. Innerhalb des Keiles liegt ein Gebiet höheren Druckes.

6. Sattel. Der Sattel ist ein zwischen je zwei Anticyklonen liegendes Gebiet niedrigeren Druckes, also eine Furche ähnlich einem Gebirgspasse, der zwischen zwei Berggipfeln liegt. Da in der Figur drei Anticyklonen angedeutet sind, so müssen naturgemäss zwei Sättel vorhanden sein.

7. Geradlinige Isobaren. Häufig verlaufen die Isobaren geradlinig, wie es am untern Ende der Figur angedeutet ist. Sie umgrenzen dann kein Gebiet, sondern stellen ein barometrisches Gefälle dar, ähnlich der sanften Böschung eines langgestreckten Hügelszuges.

Von den sieben Isobarenformen sind am wichtigsten die Cyklonen und Anticyklonen, die sekundären Depressionen, die Keile und die geradlinigen Isobaren; dagegen schliessen sich an die Sättel und V-förmigen Depressionen keine besondern Wetterregeln an.

Vorweg sei bemerkt, dass Cyklonen, sekundäre und V-förmige Depressionen, sowie Keile sich gewöhnlich nach Osten bewegen, und zwar mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 30 km in der

Stunde. Dagegen halten sich die Anticyklonen im allgemeinen tagelang, ja zuweilen Wochen und Monate auf derselben Stelle.

Wenn sich auch die gleichen Isobarenformen auf der ganzen Erde vorfinden, und wenn auch das Verhältnis der einzelnen Formen zum Wetter überall ungefähr dasselbe ist, so sind doch im besondern die folgenden Erläuterungen nur auf die nördliche gemässigte Zone berechnet.

1. Cyklone.

In den Cyklonen herrscht im allgemeinen schlechtes Wetter. Es sei daran erinnert, dass — absolut genommen — die Barometerhöhen der Cyklone auf das Wetter ohne Einfluss sind. Der einzige Unterschied besteht darin, dass mit der Stärke des Gradienten, also mit der Steilheit des barometrischen Gefälles, die Windstärke zunimmt; es ändert sich dagegen nicht der allgemeine Witterungscharakter und die Richtung des Windes. Abercromby sagt: „Dies ist einer der grundlegenden Sätze der synoptischen Meteorologie, dass nämlich der Witterungscharakter und die Windrichtung einzig von der Form der Isobaren abhängt, während die Windstärke sowie die Intensität der Wettererscheinungen nur von der Nähe, d. h. der Gedrängtheit der Isobaren bedingt ist.“ Zwischen Cyklonen, die Stürme und heftige Regengüsse erzeugen, und solchen, die das gewöhnliche Wetter, also eine mässige Brise und ruhigen Regen hervorbringen, ist nur ein Unterschied in der Intensität, d. h. in der Stärke des Gradienten vorhanden.

Den Mittelpunkt der Isobaren in der Cyklone, und zwar genau genommen, den Mittelpunkt der innersten Isobare (also des Gebietes niedrigsten Luftdruckes) nennt man das Centrum der Cyklone. Von dem Centrum aus gerechnet heisst der nach der Bewegungsrichtung der Cyklone hin liegende Teil die Vorderseite, und der hintere, dem Centrum folgende Teil die Rückseite der Cyklone.

Bei der Bewegung der Cyklone muss das Barometer an allen Punkten der Vorderseite fallen, an allen Punkten der Rückseite steigen. Quer zur Bewegungsrichtung der Cyklone lässt sich also eine Linie finden (denken), wo das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht hat und eben zu steigen beginnt; diese quer zur Bewegungsrichtung gedachte, durch das Centrum gehende Linie nennt man nach Abercromby die Rinne der Cyklone.

Beginnt also beim Vorübergang einer Cyklone das Barometer wieder zu steigen, so weiss man, dass die Rinne über den Beobachtungsort hinweggeschritten ist, und dass man sich danach auf der

Rückseite der Cyklone befindet. Dagegen ist keineswegs damit bewiesen, dass das Centrum der Cyklone selbst den Beobachtungspunkt passiert hat; letztere Annahme ist aber ein leider sehr verbreiteter Irrtum.

Der Bewegungsrichtung des Windes nach einem Minimum und innerhalb desselben, also der Windrichtung in einer Cyklone, wurde schon auf Seite 93 gedacht. Das Wetter in einer Cyklone ist ziemlich kompliziert; manches dabei hängt von der Lage der Rinne ab, ohne Rücksicht auf die Lage des Centrums selbst.

Das Wetter über der ganzen Vorderseite der Cyklone, also über allen Teilen vor der Rinne, zeichnet sich aus durch eine dumpfe, drückende Luft und durch einen düsteren, schmutziggrauen, mit Stratus oder Stratusformen umzogenen Himmel. Dabei regnet es häufig, aber der Regen kann auch fehlen.

Das Wetter über der ganzen Hinterseite der Cyklone, also über allen Teilen hinter der Rinne, zeichnet sich aus durch eine scharfe, frische Luft und eine mässige, aber schwere Bedeckung des Himmels mit Cumulus oder Cumulusformen.

Während die genannten Phänomene von der Rinne abhängig sind, folgen die allgemeinen Wettererscheinungen in der Cyklone aus der Lage des Centrums selbst. Man hat festzuhalten: Ein Regengebiet in der Nähe des Centrums; ein Ring von Wolken, der dasselbe umfasst, und blauer Himmel ausserhalb des ganzen Systems. Der Mittelpunkt des Regengebietes fällt dagegen selten mit dem Centrum der Cyklone zusammen; meist dehnt sich das Regengebiet mehr nach der Vorderseite als nach der Rückseite aus, und zwar weiter nach Süden als nach Norden.

Eine Cyklone hat also, so zu sagen, zwei Reihen von Erscheinungen; die einen, wie Wärme, Form der Wolken u. s. w. verteilen sich symmetrisch zu Vorder- und Rückseite der Cyklone; die andern, wie Wind und Regen, gruppieren sich symmetrisch zum Centrum der Cyklone. Man kann annehmen, dass sich die erstgenannten Erscheinungen von der Vorwärtsbewegung des ganzen Systems, die letzteren von der Cyklonalbewegung der Luft um das Centrum herleiten.

Beim Eintreten in die Vorderseite der Cyklone findet man „bleichen Mond“ und „wässrige Sonne“, also Anzeichen, die auch allgemein im Volk als Vorboten des Regens gelten¹⁾. Mit immer mehr fallendem Barometer machen sich Zunahme der Wärme und Feuchtigkeit, drückende, unbehagliche Luft und schmutziggrauer Himmel bemerklich. Es bilden sich Wolken um die Gipfel der

1) Dass diese Vorzeichen nicht immer Recht behalten, liegt daran, dass sich zuweilen die Minima (wie auch Teildepressionen) auflösen, ohne weiter zu ziehen, oder aber, dass sie ihre Richtung plötzlich ändern.

Berge und bedecken sie mit einer Haube; infolge der ausserordentlichen Feuchtigkeit erscheinen die Wolken schwach und niedrig und reflektieren abends weithin die Beleuchtung grosser Städte. Immer dichtere Wolken ballen sich zusammen, und es tritt Sprühregen und danach heftiger Regen mit Wind auf. Das Vorüberziehen der Rinne ist häufig mit Windstössen oder heftigen Regengüssen verbunden; diese werden als „aufklärende Regen“ bezeichnet. Und in der That ändert sich das Wetter sogleich, wenn die Rinne vorübergezogen ist. Namentlich in der Wolkenform sind charakteristische Unterschiede zwischen der Vorder- und der Rückseite der Cyklone niemals zu verkennen: Während das Gewölk auf der Vorderseite immer schichtenförmig angeordnet ist — gleichgültig ob es aus hoch schwebenden Cirruswolken oder aus schwerem, tiefgehendem, dunklem Gewölk besteht¹⁾ — wird die ganze Rückseite der Cyklone durchaus von der Wolkenform „Cumulus“ beherrscht²⁾. Da bei der gewöhnlichen Bewegungsrichtung der Cyklonen in unsern Gegenden an der Rückseite der Cyklonen Nordwestwind weht, so wird diesem allgemein eine erheiternde Wirkung zugeschrieben. Im einzelnen kann hinsichtlich der Rückseite der Cyklone noch gesagt werden, dass unmittelbar rückwärts vom Centrum gewöhnlich kleine Flecke blauen Himmels beobachtet werden. Weiter vom Centrum entfernt findet man kurze Regengüsse oder kalte Windstösse; hinter diesen treten kräftige, zerstreute Haufenwolken oder Stratocumulus in Erscheinung, und noch weiter zurück ist der Himmel wieder blau. Im Süden der Cyklone³⁾, nahe an der äusseren Grenze, beobachtet man den Windcirrus, auch unter dem Namen „Rossschweife“ bekannt. Es sind dies lange, büschelförmige Wolken, die ausserhalb des regnerischen Teiles der Cyklone liegen und daher zumeist Wind und nur selten Regen bringen.

Die Mehrzahl der vom atlantischen Ozean herkommenden Cyklonen bewegt sich von Südwest nach Nordost. Ist die Bewegungsrichtung der Cyklone eine andere, so ist auch die Lage der Vorderseite in gleicher Weise verändert. Es bleibt in solchem Falle wohl die allgemeine Windbewegung ziemlich dieselbe, aber die charakteristischen Eigenschaften der verschiedenen Teile der Cyklone sind

1) Selbst bei Vorhandensein von Nimbus findet man, wenn sich ein kurzer Ausblick durch eine zerrissene Wolke ermöglichen lässt, dass das ganze Gewölk als mehr oder weniger dicke Schicht über der Erde lagert.

2) Cirrusformen sind in der gemässigten Zone innerhalb der Rückseite einer Cyklone ausserordentlich selten.

3) Der rechts und der links von der Bewegungsrichtung gelegene Teil der Cyklone ist hinsichtlich des Wetters nicht ganz gleichwertig. Dies liegt eben an der Kombination der beiden Bewegungen, d. h. der Vorwärtsbewegung und der Drehung.

dann gegenüber der Windrichtung verschoben. Bei der in der gemässigten Zone gewöhnlichen Bewegungsrichtung der Cyklonen bringt zuerst Südostwind feuchte Luft, wässrige Sonne, Nebelkuppen auf den Bergen und schmutzigen Himmel; dann folgt Südwestwind mit rieselndem Regen, darauf Westwind mit Regenschauern (schon auf der Rückseite der Cyklone) und schliesslich Nordwestwind mit aufklärender Wirkung. Bewegt sich aber beispielsweise eine Cyklone in der Richtung nach Nordwest, so hätten wir dumpfes Wetter und schmutzigen Himmel bei Nordwestwind und helles Wetter mit heiterem Himmel, während Südwestwind weht¹⁾.

Für einen Beobachter, der sich genau in der mittleren Bewegungsrichtung einer Cyklone befindet, über den sich also nach und nach alle Teile der Vorderseite, dann das Centrum und schliesslich die Rückseite hinwegbewegen, schildert Abercromby die Vorgänge wie folgt:

„Sobald das Barometer zu fallen beginnt, erscheinen am Himmel jene lichten Wolken, welche geeignet sind, Hüfe zu bilden, und leichter Wind weht aus Südost; bald wird der Himmel trüber, die Wolken niedriger, und der Himmel erscheint „wässrig“; der Wind dreht sich gegen Süd und setzt in unbehaglichen Stössen ein, während das Barometer noch weiter fällt, und das drückende, unbehagliche Gefühl wird meist sehr merklich. Hierauf beginnt der Wind aus Südwest stärker einzusetzen und peitscht den Regen vor sich her, indem er vielleicht bis zu Sturmesstärke anwächst. Nach einiger Zeit wird einer der Windstösse bedeutend heftiger sein als die früheren und stärkeren Regen bringen, und mit einem neuen Stosse wird der Wind einige Kompassstriche umspringen und nun aus West oder Westnordwest wehen. Sehen wir jetzt wieder auf das Barometer, so werden wir bemerken, dass es in diesem Augenblicke zu steigen begann: dies ist der Vorübergang der „Rinne“ der Cyklone. Der Wind bläst nun rauher als bisher und kommt in Stössen aus Nordwest, während der ganze Himmelsanblick und Witterungscharakter verändert ist. Die Luft ist jetzt kalt und trocken, die Wolken höher und schärfer; zuweilen erblickt man einen Fleck blauen Himmels; schwere bergartige Haufenwolken erscheinen mit Windstössen und Regenschauern, worauf dann der Wind nachlässt. Auch diese Regenschauer machen allmählich regenlosen Wolkenmassen Platz, und nach einiger Zeit ist der Himmel hell und wolkenlos, während der Wind nur mehr als leichte Brise weht.“

1) In der gemässigten Zone beobachtet man eine derartige Bewegungsrichtung der Cyklonen ausserordentlich selten; dagegen ist sie in den nördlichen Tropen die Regel.

An der Bewegung des Windes während des Vorüberganges einer Cyklone lässt sich erkennen, in welchem Teile der Cyklone sich der Beobachter befindet: Steht der Beobachter südlich vom Centrum der durchziehenden Cyklone, so ändert der Wind seine Richtung mit dem Laufe der Sonne, also von Ost über Süd nach West, oder von West über Nord nach Ost; der Seemann sagt „der Wind viert“. Steht der Beobachter dagegen nördlich vom Centrum der vorbeigehenden Cyklone, so ändert sich der Wind während des Vorüberganges in umgekehrter Richtung (gegen den Lauf der Sonne), also von Ost über Nord nach West oder von West über Süd nach Ost; man nennt dies „rückdrehenden Wind“. Liegt der Beobachtungsort genau in der Bahn des Centrums, so muss der Wind unvermittelt von Südwest nach Nordost umspringen, ohne zu vierten oder zurückzudrehen.

Durch diese Regeln ist es jederzeit möglich zu bestimmen, in welchem Teile der Cyklone sich der Beobachtungsort befindet. Ubrigens bewegen sich die Cyklonen selten so südlich, dass ein Beobachter in Nordeuropa die rückdrehende Windrichtung beobachten könnte. Kommt dies doch vor, so folgt sofort eine zweite Cyklone, die sich weiter nördlich bewegt und wieder schlechtes Wetter bringt, während der Wind jetzt fast die ganze Windrose herum viert ¹⁾.

2. Teilcyklone.

Die sekundäre Depression oder Teilcyklone kommt zwar häufig gleichzeitig und in der Umgebung einer Cyklone vor (in welchem Falle ihre Bewegung durch die Hauptcyklone mitbestimmt wird), aber sie tritt doch auch sehr oft auf, ohne dass eine geschlossene Cyklone überhaupt vorhanden wäre. Man findet sie in Gegenden, wo eigentliche Cyklonen zu den grössten Seltenheiten gehören, und andererseits bilden sie sich nicht selten an den Rändern von Anticyklonen.

Die sekundären Depressionen bewegen sich meistens parallel den Hauptcyklonen, nur sehr selten drehen sie sich um die Hauptcyklone herum. Sekundärdepressionen, die am Rande von Anticyklonen stehen, haben eine sehr unbestimmte Bewegung, bleiben auch oft längere Zeit stabil.

Die Teilcyklonen haben bedeutenden Einfluss auf das Wetter. Unmittelbar vor einer solchen Ausbuchtung, die ein Gebiet niederen Druckes umschliesst, beobachtet man die dünnen, nebeligen Wolken, denen wir auch an der Front der Hauptcyklonen begegneten, und

1) Hieraus erklärt sich die Wetterregel:
 „Wenn gegen die Sonne dreht der Wind,
 „Trau nicht! Er viert zurück geschwind.“

die Mond- und Sonnenringe verursachen. Ausdrücklich sei hinzugesetzt, dass diese Erscheinungen an der Vorderseite der Teilcyclone auftreten, wenn man bei dieser Bezeichnung ihre Bewegungsrichtung im Auge hat, nicht aber die Richtung, nach der sich die Ausbuchtung der Teilcyclone überhaupt erstreckt.

Schreitet die Sekundärdepression weiter fort, so folgt den Sonnenringen nun ein der Ausbuchtung parallel gerichteter Wolkenring düsterer Cirrostratus; dann kommt ein weiterer Ring mit heftigem Regen und Windstößen, der sich rings um jene Seite der Teilcyclone legt, wo die Gradienten am steilsten sind, wo also die nächst höhere Isobare am dichtesten an die Ausbuchtung heranreicht.

Die Richtung des Windes folgt im allgemeinen dem Laufe der Isobaren, jedenfalls ist der Winkel zwischen Wind- und Isobarenrichtung hier viel kleiner als in einer Hauptcyclone. Eine besondere Art von Gewittern bildet eine häufige Begleitung der Teilcyclonen. Bewegt sich die sekundäre Depression ostwärts, so ergibt sich für einen in der Bewegungsrichtung stehenden Beobachter eine Wetterfolge, die wir der Einheitlichkeit wegen wieder mit A b e r c r o m b y s Worten wiedergeben:

„Der blaue Himmel wird sich entweder mit einem dünnen, nebeligen Schleier bedecken, und vielleicht werden sich Sonnen- und Mondringe bilden; oder aber eine schmutzige Cirrostratusdecke wird sich ausbreiten und der Wind wird schwach werden. Die Wolken werden dann rasch schwarz und schwer, und bald darauf tritt plötzlich heftiger Regen in grossen Tropfen ein, begleitet von einigen heftigen Windstößen. Wir haben früher gesehen, dass in einer Hauptcyclone der Regen rieselnd beginnt. Wenn man das Barometer sehr sorgfältig beobachtet, so wird man bemerken, dass nun ein sehr leichtes Steigen oder Fallen desselben, vielleicht nur ein paar Zehntel eines Millimeters, erkennbar ist. Der stürmische Regen dauert nur einige wenige Minuten; hierauf nimmt der Wind ab, und der Regen fällt in gerader Linie nieder, aber nicht mehr so heftig wie anfänglich. Dieser Zustand dauert zuweilen vier bis fünf Stunden und wirkt häufig recht verwirrend auf jene, welche gewohnt sind, den Regen nur mit fallendem, nicht aber mit gleichbleibendem Barometerstand in Verbindung zu bringen. Wenn dann die Rückseite der Teilcyclone herannaht, wird der Regen plötzlich heftiger, und es treten verhältnismässig starke Windstöße auf. Gerade in diesem Augenblicke bewegt sich das Barometer ein wenig, möglicherweise nur ein paar Zehntel eines Millimeters. War die Bewegung des Quecksilbers beim Beginn des Regens aufwärts, so wird auch jetzt eine Aufwärtsbewegung erkennbar sein; war sie anfänglich fallend, so wird sie es auch jetzt sein. Hier haben wir einen weitem Unter-

schied gegen die Hauptcyklone vor uns, in welcher stets einem Fallen des Barometers ein Steigen desselben folgt. Der heftige Regen dauert nur kurze Zeit, worauf die Wolken in unregelmässige Haufenwolken zerfallen und dann der Himmel rasch klar wird.“

Während für das Wetter in einer Cyklone, für den Regen, der mit Wind und fallendem Barometer eintritt, ohne Schwierigkeit aus unsern obigen Erläuterungen gute Wetterregeln abzuleiten sind, existieren solche für das Wetter, das die Teilcyklone bringt, nicht. Jedenfalls sieht man nun die Gründe ein, warum es oft regnet, während Windstille und unveränderliches Barometer keine Anzeichen dafür bieten.

3. Anticyklone.

Die Anticyklone ist ein barometrisches Maximum, dessen begrenzende Isobaren nahezu kreisförmig sind. Die Anticyklonen erstrecken sich über weite Gebiete; ihre Isobaren haben stets erhebliche Abstände von einander — die Gradienten sind also schwach. Der höchste Luftdruck herrscht in der Mitte der Anticyklonen; nach aussen nimmt er allmählich ab. Im Mittelpunkt herrscht Windstille; an den äusseren Grenzen wehen die Winde vom Mittelpunkt ausgehend im Sinne eines Uhrzeigers, jedoch nicht parallel mit den Isobaren, sondern in spiraliger Wendung nach aussen. Gemäss den schwachen Gradienten erheben sich die Windbewegungen in keinem Teile der Anticyklone zu besonderer Höhe. Die Windrichtung in einem solchen Maximum und von demselben nach aussen wurde übrigens schon Seite 93 erörtert.

Im Centrum der Anticyklone ist die Luft kalt und trocken; blauer Himmel und heisse Sonne sind zu beobachten. Rechnet man dazu die schwachen Winde und den dunstigen Horizont in der Anticyklone, so sieht man, dass sie ihren Namen mit Recht trägt, dass das Wetter darin gerade das Gegenstück zu dem Wetter in der Cyklone ist. Die klare Luft bringt es mit sich, dass das Wetter der Anticyklonen fast ausschliesslich von der strahlenden Wärme beeinflusst wird und dass grosse, tägliche Schwankungen darin vorkommen. Festzuhalten ist auch, dass die Anticyklone im Gegensatz zur Cyklone einen vorwiegend stationären Charakter hat, dass sie sich nicht in schneller Bewegung befindet, sondern gewöhnlich mehrere Tage über derselben Stelle lagert.

Das Wetter in der Anticyklone ist als gut und als dauernd zu bezeichnen. Im Frühling und Herbst¹⁾ sind die Thäler am frühen Morgen gewöhnlich von Nebel erfüllt, der unter dem Ein-

1) Bei mehr insularer Lage, wie z. B. in England, auch im Sommer.

fluss der höher steigenden Sonne verschwindet und einem wolkenlosen, warmen Tage Platz macht. Sobald die Sonne gesunken ist, nimmt wegen des klaren Himmels die Strahlung nach dem kalten Weltenraum rasch zu; wieder bilden sich Nebel in den Einsenkungen und Tau auf dem Grase. Voraussetzung ist dabei, dass — wie in der Anticyklone gewöhnlich — Windstille herrscht oder nur ganz schwache Winde wehen. „Dass viele Wetterzeichen, welche sich auf die Strahlung und die täglichen Schwankungen beziehen, Zeichen schönen Wetters sind, kommt daher, dass dieselben in einem Lande wie England und Deutschland nur in einer Anticyklone vorkommen können. Eine Anticyklone bedeutet soviel wie andauernd schönes Wetter, nicht nur weil zu einem beliebigen Zeitpunkte das Wetter in derselben schön, sondern weil dasselbe gewöhnlich stationär und so nichts da ist, was den vorhandenen Zustand ändern könnte. Alle anticyklonalen Wetterregeln schlagen fehl, wenn die Anticyklone plötzlich zerfällt, oder wenn der seltene Fall eintritt, dass sie sich längs einer bestimmten Bahn fortbewegt.“

Aus den Schwankungen, die in einer Cyklone herrschen, lässt sich eine Reihe von Wetterregeln ableiten:

Der Himmel ist durchschnittlich klar, die Luft windstill; dementsprechend ist es am Tage warm und in der Nacht kalt. Im Sommer herrscht tagsüber Sonnenschein, während zur Nacht starke Taubildung zu beobachten ist und in Thalsenkungen Nebel lagert.

„Starker Tau an heissen Tagen deutet auf andauernd schönes Wetter; ist nach einem heissen Tage keine Taubildung zu beobachten, so ist Regen zu erwarten.“

„Steigt Nebel aus tiefen Lagen und löst er sich rasch auf, so ist dies als ein Vorbote schönen Wetters anzusehen¹⁾.“

Im Winter ist das Centrum der Cyklone, und ihre centralen Teile überhaupt, durch anhaltende niedrige Temperatur, also durch allgemeinen Frost charakterisiert. Dabei sind häufig Nebel zu beobachten, namentlich in der Nähe grosser Städte.

„Weisser Nebel im Winter zeigt Frost an.“

Die Windstärke ist gewöhnlich sehr gering, und diese niedrigen Gradienten der Anticyklone bringen es mit sich, dass der Wind häufig tagsüber „viert“, also mit der Sonne dreht. Es ist dies die normale tägliche Schwankung der Windrichtung, die aber nur in einem so ruhigen System, wie es die Cyklone ist, klar zum Ausdruck

1) Dieser Vorgang ist natürlich gänzlich verschieden von dem Aufsteigen des Nebels, das die Feuchtigkeit der schon wasserreichen Luft noch vermehrt und demgemäss ganz richtig als ein Vorbote von Regen angesehen wird (vgl. Seite 62). Hier dagegen ist die grosse Trockenheit der Luft schuld, dass sich der Nebel rasch auflöst.

gelangt, während sie bei steileren Gradienten durch die sonstigen atmosphärischen Strömungen unterdrückt wird. Ebenso pflegen an den Küsten unserer gemäßigten Zone die Land- und Seewinde (vgl. Seite 90) nur beim Herrschen einer Anticyklone charakteristisch zum Durchbruch zu kommen. So gilt denn an unsern Küsten das Auftreten des typisch wechselnden Küstenwindes, und ebenso im Innland das „Vieren des Windes“ im Verlauf des Tages, als Anzeichen guten Wetters.

Im Winter herrscht nicht selten an der Südseite der Anticyklone mehrere Tage lang ein schneidender Ostwind, der scharfe Kälte bringt; während dieser Zeit hat der Himmel ein gleichbleibendes düsteres Aussehen.

Alle Wetterregeln der Anticyklone werden umgestürzt, wenn dieselbe nicht stationär bleibt. Meistens übrigens zerfällt sie ohne sich fortzubewegen, und an ihre Stelle tritt dann irgend eine andere Isobarenform. Selten bewegt sich die Anticyklone als solche weiter fort, während eine andere Isobarenform in das bisherige anticyklonale Herrschaftsgebiet eintritt.

4. Keil.

Die keilförmigen Isobaren schliessen ein vorspringendes Gebiet hohen Luftdruckes ein, das sich zwischen zwei Cyklonen einschiebt. Der Vorsprung des Keiles kann zwar jeder Himmelsrichtung zugekehrt sein, aber es hat sich doch durch zahllose Beobachtungen ermitteln lassen, dass in Wirklichkeit der Keil in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle nordwärts gerichtet ist.

Rechts und links von der Keilrichtung befinden sich Cyklonen, deren eine sich entfernt, während die andere sich nähert¹⁾. Beide Cyklonen bewegen sich in einer Richtung und der zwischen ihnen gelagerte Keil zieht ebenso mit ihnen. Im Gebiete des Keiles muss sich demnach eine Linie von Stationen finden, wo das Barometer eben noch angestiegen ist, weil die erste Cyklone sich entfernt, und wo es nun gerade wieder zu fallen beginnt, weil die zweite Cyklone sich nähert. Diese Linie heisst der Kamm des Keiles; er bildet ungefähr die Mittellinie der Keilrichtung (d. h. nicht der Bewegungsrichtung, sondern der Vorsprungsrichtung des Keiles.)

Was die Windrichtung und Windstärke in und um den Keil anlangt, so richten sie sich nach den allgemeinen Gesetzen der Gradienten. Diese sind nie sehr steil, und deshalb steigt der Wind

1) Von einem im Gebiet des Keiles gewählten stationären Beobachtungspunkte aus betrachtet.

kaum bis zur Stärke einer frischen Brise. Im Centrum des Keiles ¹⁾ ist Windstille vorhanden; auf der Ostseite herrscht Nordwestwind, während auf der Westseite der Wind aus Südwest bis Südost kommt.

Über den allgemeinen Witterungscharakter in dem Keil sagt Abercromby:

„Auf der Vorderseite finden wir blauen Himmel mit prachtvoll schönem Wetter, einer eigenen Art Strahlenbrechung und jener ungewöhnlichen Klarheit der Atmosphäre, die eine auffallende Sichtbarkeit der Gegenstände erzeugt. Näher der Windstille, unter dem Kamm, kommen wir zum Strahlungswetter mit Nebel und dann, gerade an der Stirne des Kammes, zu einem Himmel mit Streifen von Cirruswolken, die Sonnenringe bilden. An der Spitze des Kammes treten oft Gewitter mit heftigen Regen auf. Auf der Rückseite des Kammes ist der Himmel mit Cirruswolken bedeckt, und weiter zurück finden wir den Regen der heranziehenden Cyklone.“

Danach lässt sich der Witterungswechsel für einen Beobachtungsort, über den der Keil dahinzieht, wie folgt, angeben: „Zunächst würden wir einen herrlich schönen Tag bei Nordwestwind und steigendem Barometer haben, bei Tage heisse Sonne, bei Nacht Ausstrahlung, je nach der Jahreszeit. Während dann das Barometer noch steigt, nimmt der blaue Himmel eine eigentümliche Weise an; es bilden sich Ringe um Sonne oder Mond, und stellenweise erscheinen Cirrusstreifen. Bald darauf beginnt das Barometer zu fallen, der Himmel wird immer dichter bewölkt, und nachdem zuerst der Wind nach Südwest zurückgeschlagen, beginnt der rieselnde Regen der neuen Cyklone.“

Hier zeigt die Bildung der Ringe um Sonne oder Mond, also das Aussehen des Himmels, das kommende schlechte Wetter schon zu einer Zeit an, wo das Barometer noch steigt. Man erkennt hier so recht den ausserordentlichen Wert der synoptischen Meteorologie. Der an der Centralstelle befindliche Meteorologe, der aus den morgens telegraphisch eingehenden Barometerständen den heranziehenden Keil erkennt, kann den Stationen auf dessen Vorderseite telegraphieren, dass das dort zur Zeit herrschende schöne Wetter nicht von Dauer sein würde, während man daselbst wegen des gleichzeitig steigenden Barometers sicher das Gegenteil anzunehmen geneigt ist.

Nicht allen Cyklonen geht ein Keil voraus, sondern nur jenen, die sich um den Nordrand einer grossen stationären Anticyklone, so zu sagen, herumwinden.

1) Es ist hier stets der häufigst vorkommende Fall vorausgesetzt, dass der Keil nach Norden gekehrt ist.

Man hat zu merken, dass jeder Himmelsanblick, der die Vorderseite eines Keiles charakterisiert, als Vorbote von Regen aufzufassen ist, weil eben mit der Rückseite des Keiles die Cyklone anrückt, also der Regen eintritt. Hier sieht man recht, wie zweifelhaft der Wert der hygrometrischen Messungen für die Wetterprognose sein kann. Bei der Cyklone trifft es ja zu; da deutet die stetig zunehmende Feuchtigkeit (und der düstere Himmel) auf den kommenden Regen hin. Aber sicher ist es verfehlt, wenn man versucht, jedes Vorzeichen für Regen durch die Zunahme der Luftfeuchtigkeit erklären zu wollen. Die Vorderseite des Keiles — und diese ganze Isobarenbildung überhaupt — ist ein Beweis dafür, dass zwischen den Cyklonen (und als Teil von ihnen) ein Gebiet ruhigen und klaren Himmels gedacht werden muss.

Die wegziehende (erste) Cyklone, also der heranrückende Keil, bringt einen schönen klaren Tag, an dem die Sonne sengend heiss herunterstrahlt. Ausserordentlich gross ist die Durchsichtigkeit. Hat die auf der Vorderseite des Keiles befindliche Cyklone einen Nordweststurm erzeugt, so besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, dass die hinter dem Keil heranziehende zweite Cyklone mit einem Südweststurm einsetzt.

Betrachtet man die Cyklonen und die Teilcyklonen einerseits und die Anticyklonen und Keile andererseits, so sieht man, dass die Begriffe „Regen“ und „schlechtes Wetter“ ebenso variabel sind, wie der Ausdruck „schönes Wetter“. Das schöne Wetter im Keil ist immer klar und nur vorübergehend, weil der Keil stets eine wandernde Isobarenform ist. Das Wetter der Anticyklone ist fast stets dunstig und dauerhaft, weil die Anticyklone selbst beinahe ausnahmslos stationär ist.

Keine Isobarenform hat Wetterregeln, die so sicher sind, die so wenig fehlschlagen, wie der Keil. Fehlschläge kommen nur dann vor, wenn die ganze zur Zeit bestehende Luftdruckverteilung zerfällt und plötzlich einer ganz andern Platz macht.

5. Geradlinige Isobaren.

Die geradlinigen Isobaren haben ihren Namen daher, dass sie keine Krümmung zeigen. Ihr Lauf wie ihr Gefälle kann allen möglichen Himmelsrichtungen zugekehrt sein. Es ist wohl zu merken, dass, während bei allen bisher beschriebenen Isobarenformen die Linien ein Gebiet niedrigen oder ein solches hohen Druckes umschliessen, bei den geradlinigen Isobaren durch die Linien nur die Lage des barometrischen Gefälles wiedergegeben wird.

Die Windrichtung gegenüber den geradlinigen Isobaren unterscheidet sich in nichts von derjenigen nach einem Minimum hin. Man muss sich vor allem darüber unterrichten, nach welcher Gegend hin das Gefälle liegt; stets gelten die Windregeln, die auf Seite 93 wiedergegeben sind: Erstreckt sich der Zug der geradlinigen Isobaren von Norden nach Süden und liegt das Gefälle nach Westen hin, so ist die Lage nicht anders, als ob man sich im Osten eines Minimums befindet; der Wind weht aus SO. Ist dagegen bei derselben Isobarenrichtung das Minimum ostwärts gelegen, so kommt der Wind aus NW, weil man sich auf der Westseite des Minimums befindet. Ziehen sich die geradlinigen Isobaren von Osten nach Westen hin und liegt das Gefälle nordwärts, befindet man sich also im Süden des niedrigeren Luftdruckes, so hat man SW-Wind, und bei südwärts gekehrtem Gefälle endlich muss der Wind aus NO wehen. Die Windrichtungen für einen andern Verlauf der geradlinigen Isobaren und für anders gerichtetes Gefälle sind hiernach leicht abzuleiten.

„Auf der Seite des hohen Druckes ist der Himmel blau; bei Annäherung an den niedrigen Luftdruck erscheinen federförmige Cirrus- oder eine Art von Windwolken; ein tosender Wind wirbelt Staub auf oder bläst Russ nieder. Kommt man noch näher dem niedrigen Drucke, so sieht man den Himmel sich mit schweren Stratocumuluswolken bedecken, vorerst mit Klüften zwischen diesen Wolkenmassen; unterhalb der Sonne sieht man durch die letztern divergierende Strahlen herabströmen, was man das „Wasserziehen der Sonne“ nennt. Zuweilen, besonders im Winter, sind diese Strahlen trüb, und der Anblick des Himmels ist dann sehr überraschend.“ Das Wasserziehen der Sonne wird allgemein als Vorbote von Regen aufgefasst. Gleichzeitig beobachtet man häufig eine grosse Durchsichtigkeit der mässig trocknen Luft, während der Himmel dicht bedeckt ist¹⁾. Man sieht, dass dies eine ganz andere Art von Durchsichtigkeit ist, als jene in der Front eines Keiles, die bei wolkenlosem Himmel auftritt. Zu derselben Zeit findet man oft, dass die Leitungsfähigkeit der Luft für den Schall ausserordentlich erhöht ist; man hört leise und ferne Geräusche mit ungewohnter Deutlichkeit²⁾. Nicht immer bringen die geradlinigen Isobaren reichen Regen; bei sehr steilen Gradienten fällt nur wenig Regen, meist in leichten Schauern und bei schwer bedecktem Himmel.

1) Die Wolkendecke scheint eine Bedingung der aussergewöhnlichen Durchsichtigkeit der Luft zu sein, denn diese nimmt sogleich ab, wenn die Sonnenstrahlen die Wolken durchbrechen.

2) Diese Hörbarkeit ferner Klänge hat nichts gemein mit dem Hörbarwerden von Geräuschen, das auf abnorme Windrichtung zurückzuführen ist.

Das hier beschriebene Wetter ist nun nicht die Wetterfolge für einen einzelnen Beobachter, sondern vielmehr die Witterung, die gleichzeitig in den verschiedenen Teilen des geradlinigen Isobarengebietes herrscht. Die Wetterfolge für einen einzelnen Beobachter lässt sich um deshalb hier nicht aufstellen, weil die geradlinigen Isobaren keine fortschreitende Form der Druckverteilung darstellen; es handelt sich vielmehr dabei immer um eine vorübergehende Druckanordnung, die niemals lange andauert. Zahlreiche Beobachtungen haben ergeben, dass die geradlinigen Isobaren stets wieder schnell verschwinden, und dass fast ausnahmslos ein heute von ihnen beherrschtes Gebiet morgen unter dem Einfluss einer Cyklone steht. Es ist dies allerdings nicht so zu verstehen, dass die danach folgende Cyklone schon gebildet wäre, während noch die geradlinigen Isobaren über einem Gebiete lagern; es ist nicht dasselbe wie beim Keil, dessen Bildungsprinzip darauf beruht, dass er sich zwischen zwei bestehenden Cyklonen bewegt — sondern die geradlinigen Isobaren scheinen erfahrungsgemäss sehr leicht in Cyklonen überzugehen; sie bilden eine Übergangsform der atmosphärischen Zirkulation, die der Bildung einer Cyklone, wenn auch nicht immer, so doch gewöhnlich vorausgeht.

Die geradlinigen Isobaren bieten Regenvorzeichen, die von denen einer Cyklone durchaus verschieden sind: „Während die letztern von einer fast bedrohlichen Stille und einem schmutzigen, dunkeln Himmel begleitet sind, treten die ersteren mit schweren Wolken und tosendem Winde auf, von dem gewöhnlich gesagt wird, „dass der Wind den Regen aufhält“ oder „dass es regnen wird, wenn der Wind aufhört“. Während die Wetterzeichen, die einem cyklonalen Regen vorhergehen, richtig sind, weil sie an der Stirnseite der Regenzone einer Depression gesehen werden, treffen die mit geradlinigen Isobaren auftretenden deshalb zu, weil das Gebiet, welches die letztern heute bedecken — obwohl da augenblicklich wenig Regen herrscht —, wahrscheinlich morgen von einer Cyklone eingenommen wird, da die Bedingungen für den Durchzug einer Cyklone günstig sind. Ein anderer Gegensatz liegt in der Trockenheit der Luft bei geradlinigen Isobaren gegenüber der übergrossen Menge Feuchtigkeit, die einer Cyklone vorhergeht. Dieselben Bemerkungen finden ihre Anwendung auf die Schönwettervorzeichen, welche mit keilförmigen Isobaren in Verbindung stehen.“

Alle Wettervorzeichen, die sich auf die geradlinigen Isobaren beziehen, können Fehlschlüsse bedeuten, wenn sich diese Isobarenform nicht als Vorläufer einer Cyklone bildet, sondern im Verlauf einer allgemeinen Wiederherstellung der ganzen Luftdruckverteilung über der nördlichen Halbkugel; denn in einem solchen Falle folgt

eben jenen „Regenzeichen“ nicht die Cyklone, die den verkündeten Regen wirklich bringen sollte.

Überblicken wir die Gesamtheit der Wetterregeln, die sich aus den behandelten fünf wichtigen Isobarenformen ableiten lassen, so müssen wir sagen, dass sie nur in der Theorie ganz sichere Schlüsse gestatten, dass dagegen in der Wirklichkeit viele Momente möglich sind, die sie fehlschlagen lassen. Der Hauptgrund hierfür liegt darin, dass die Bewegungsrichtung der Cyklonen und Teilcyclonen nicht konstant bleibt, dass es nicht möglich ist, aus dem bisherigen Weg einer Cyklone mit Sicherheit darauf zu schliessen, dass sie ihren Weg in derselben Richtung weiter fortsetzen wird. Die Depressionen ändern ausserordentlich häufig ihre Richtung ganz plötzlich, und weiter kommt es auch vor, dass sie sich auflösen. — Welches Wetterzeichen vermöchte uns die Wahrscheinlichkeit eines solchen Vorkommnisses im einzelnen Falle zu prophezeien! Andererseits ist nicht zu leugnen, dass der an der Centralstelle sitzende Meteorologe mit Hilfe der synoptischen Karten oft vorhersehen kann, dass eine Cyklone zum Stillstand kommen oder von ihrer Bahn abgelenkt werden wird; er kann dies oft mit erheblicher Wahrscheinlichkeit voraussehen, indem er anders gerichtete, entgegenkommende Luftwirbel mit berücksichtigt.

Abgesehen vom Luftdruck sind es die Wolkenformen, aus denen ein verständiger Beobachter sehr häufig das bevorstehende Wetter zu erkennen vermag. Nur ist gerade hierbei, mehr als irgendwo anders, vor einer mechanischen Betrachtung des Himmels zu warnen, weil man mit einer solchen garnichts anfangen kann. Leider gestattet es der Umfang und Zweck des vorliegenden Buches nicht, näher hierauf einzugehen; es sei nur bemerkt, dass es einen Cumulus giebt, der Regen, und einen der schönes Wetter bringt, dass Cirrus als gutes und als schlechtes Wettervorzeichen auftreten kann¹⁾ u. s. w. Übrigens sind die Schönwetter- und die Schlechtwetterformen in der Praxis nur selten zu verwechseln. Man hat sich nur stets zu vergegenwärtigen, welche Schlüsse die Erscheinung der Wolken überhaupt gestattet. Die Wolken sind eben Wasserbläschen, und das Aufsteigen und Niedersinken mehr oder weniger dampfreicher Luft unter dem Einfluss von Wärme und Luftströmungen, die Ausscheidung von Wasserdampf in Bläschenform,

1) Im allgemeinen ist der schnell bewegte Cirrus ein bedenklicheres Wettervorzeichen als der langsam dahinschwebende oder stillstehende.

die Bewegung dieser in der Atmosphäre zu Massen angehäuften Wasserbläschen nach der einen oder andern Richtung — das ist es, was wir in den Wolken zu sehen haben. Ihre Bedeutung lässt sich stets nur aus den vorhergehenden und den begleitenden Erscheinungen beurteilen. —

Fassen wir nun das, was sich als Praxis der Wetterprognose ergibt, in folgende Wetterregeln für Europa zusammen:

Das Steigen des Barometers kündigt heiteres, das Fallentrübes Wetter an.

Zwar zeigt das Barometer zunächst nur die Grösse des Luftdruckes, während das Wetter ausserdem von der Windrichtung, von der Wärme und dem Wasserdampf der Luft abhängt. Diese Faktoren stehen aber häufig in demselben Zusammenhang und kommen dann in gleicher Kombination mit einander vor. Diese Fälle, in denen also die obige barometrische Wetterregel zutrifft, finden statt, wenn

1. eine Anticyklone vorhanden ist,
 2. wenn eine Cyklone vorhanden ist,
 3. wenn das Minimum zuerst über Grossbritannien, dann über der Nordsee und darauf über der Ostsee beobachtet wird
- und 4. wenn bei fallendem Barometer zahlreiche Federwolken von Westen her heraufziehen.

Über den ersten und zweiten Fall ist nach den früheren Erläuterungen nichts weiter zu sagen.

Der dritte Fall kommt sehr häufig vor; es bildet sich eine Depression bei England und rückt über die Nordsee und dann über die Ostsee hin zu uns heran. Dabei hat das nördliche Deutschland — und, wenn die Depression tief genug ist, auch Mittel- und Süddeutschland — in der Mehrzahl der Fälle bei anhaltend fallendem Barometer erst Südostwind, dann Süd-, Südwest- und Westwind. Diese Winde bringen warme, dampfreiche Luft und veranlassen meist auf längere Zeit Regen oder Schneefall. Erst wenn das Centrum der Depression mehr östlich fortrückt, dreht sich der Wind nach NW, N und NO und bringt schwere, trockene Luft. Während das Barometer allmählich steigt, folgen noch Regen- und Schneeschauer, bis sich schliesslich der Himmel aufhellt.

Was den vierten Fall anlangt, so haben die Beobachtungen gelehrt, dass Federwolken, die von SW, W oder NW in Menge oder in Streifen heraufziehen, von einem Minimum herkommen, und dass meistens einen Tag danach dieses regenbringende Minimum an derselben Stelle oder etwas nördlich davon lagert, wo der Cirruszug beobachtet wurde.

Fällt das Barometer schnell und sehr bedeutend, so ist das Eintreten von Stürmen zu erwarten.

Die Wetterprognose, die überhaupt für höchstens 8—12 Stunden möglich ist, wird durch die Teildepressionen und Keile ausserordentlich erschwert. Erleichtert wird die Wettervorherbestimmung durch den stationären Charakter der Maxima, weiter dadurch, dass mehrere in kurzen Zwischenräumen einander folgende Depressionen gewöhnlich denselben Weg einschlagen, und schliesslich dadurch, dass viele Minima bestimmte Zugstrassen innehalten, sodass dieselben Wettererscheinungen wiederkehren.

Man unterschied lange Zeit für Europa fünf Hauptzugsstrassen der Minima, die sich vielfach verzweigen. Eine im Sommer häufige Zugstrasse führt z. B. von der Südseite Irlands in nordöstlicher Richtung durch England, dann durch das Skagerrack, Südschweden, den baltischen und finnischen Meerbusen nach dem weissen Meere. Diese Minima bewirken einen schnellen Witterungswechsel und in der Regel Regenwetter. Für den Winter beginnt eine häufig durchlaufene Zugstrasse westlich von Schottland und führt längs der norwegischen Küste nach NO. Diese Minima bringen für uns stüdliche, nach Westen drehende Winde und geringe Niederschläge. Überhaupt nimmt in jedem Falle die Wahrscheinlichkeit des Eintretens schlechter Witterung ab mit der Zunahme der Entfernung von der Cyklone selbst.

Neuerdings hat man eingesehen, dass sich die Aufstellung der fünf europäischen Cyklonenbahnen nicht gut rechtfertigen lässt, und dass sie zu misslichen Fehlern in der Prognose führt.

Die Neigung mehrerer auf einander folgender Cyklonen, dieselbe Bahn einzuschlagen, liegt unbestreitbar vor, und sie erklärt sich naturgemäss dadurch, dass die Bahn jeder Cyklone durch den Typus der Druckverteilung bestimmt ist, unter der sie entstand. Änderungen der Bahn, die dem Charakter der Druckverteilung nicht genau entsprechen, werden durch die Formation des Landes bedingt. So haben alle Cyklonen grössere Neigung, an den Seeküsten entlang zu streichen, als in das Land selbst einzudringen. Ebenso wirken grosse Gebirgsketten ablenkend, und nicht selten zerfallen Cyklone des Mittelmeeres bei dem Versuche, die Alpen zu überschreiten. Festzuhalten ist, dass die Cyklone gewöhnlich den hohen Druck an ihrer rechten Seite zu halten bestrebt ist.

Wir wiederholen zum Schluss, dass die synoptische Meteorologie ausserordentlich viel vor den Prognosen voraus hat, die ein einzelner zu stellen vermag, auch wenn er mit den feinsten Hilfsmitteln der Wissenschaft ausgerüstet ist. Es kommt eben für die Wettervorhersage auf den Vergleich der meteorologischen Faktoren mehrerer Beobachtungsstellen an.

Der einzelne Beobachter kann im Prinzip — soweit das Barometer in Betracht kommt — stets nur aus dessen Schwankungen auf Witterungsänderungen Schlüsse zu ziehen versuchen, nicht aber kann er hierfür den — absolut genommen — hohen oder niedrigen Stand des Barometers selbst verwerten.

Abgesehen von allem haben uns die Betrachtungen der einzelnen meteorologischen Faktoren auch schon darüber belehrt, dass so und soviel Fälle möglich sind, in denen das schlechte Wetter vom Barometer nicht angezeigt wird; es mag dabei an den Keil und namentlich auch an die Böen (Seite 104) erinnert sein.

Die praktische Witterungskunde teilt sich in mehrere Zweige, von denen hier noch mit einigen Worten auf die Agrarmeteorologie eingegangen sei, weil sie mit einem späteren Kapitel unseres Buches im Zusammenhange steht.

Es ist ja klar, dass — vielleicht abgesehen vom Seemann — niemand ein berechtigteres Interesse an den Witterungsverhältnissen hat, als der Landmann. Aber es handelt sich bei ihm eigentlich viel weniger darum, die mutmassliche Witterung für die nächsten 24 Stunden kennen zu lernen, als darum, einen zuverlässigen Ausblick auf den allgemeinen Witterungscharakter der nächsten Zeit überhaupt zu gewinnen. Er will über bevorstehenden Wechsel des Wetters orientiert sein, gleichgültig in welchem Sinne dieser Wechsel sich vollzieht; er will die Dauer der nassen und der trocknen Perioden kennen, die in die Zeit der Saat und in die der Ernte fallen. Der verdiente Meteorologe der deutschen Seewarte Dr. J. van Bebbler sagt in einer einschlägigen Schrift¹⁾: „Denn obgleich in der Zwischenzeit das Gedeihen der Kulturpflanzen von der Witterung abhängt, so kann der Landmann doch sich zu dieser Zeit den Witterungserscheinungen gegenüber in den meisten Fällen nur passiv verhalten; es steht nicht in seiner Macht, dieselben zurückzuhalten oder sich vor denselben zu schützen, sondern er muss ihre Einwirkung über sein Eigentum ergehen lassen. Dagegen zur Zeit der Aussaat und der Fruchtreife kann er sich vor Schaden hüten, sobald er Kenntnis von der zu erwartenden Witterung besitzt. Hiernach unterscheiden sich die Bedürfnisse für den Seemann ganz wesentlich von denen des Landwirtes, und diese prinzipiellen Unterschiede müssen sich in der Organisation des Sturmwarnungssystems und des Systems von Wetter-

1) van Bebbler, Die Meteorologie im Dienste der Landwirtschaft. Deutsche Revue. 1877.

warnungen für die Landwirtschaft notwendig äussern: die beiden Einrichtungen müssen, wie innig sie auch dem Wesen nach verwandt sind, in den Einzelheiten der Organisation von einander verschieden sein.“

Hinsichtlich der Sturmwarnungen gilt ja durchaus das barische Windgesetz von Buys-Ballot, dessen Verständnis der Wettervorhersage zur festesten Stütze gereicht; bei der Agrarmeteorologie kommt aber dieses Gesetz, wenn es auch selbstverständlich zu Recht bestehen bleibt, doch eben nur indirekt in Betracht.

Vor allem sind für die Landwirtschaft die atmosphärischen Niederschläge, die sogenannten Hydrometeore, von Wichtigkeit. Es reicht nun für diesen Zweck bei weitem nicht aus, die Regenwahrscheinlichkeit aus den sonst üblichen meteorologischen Faktoren zu bestimmen, sondern es ist vor allem erforderlich, die lokalen Bedingungen der Regenbildung zu ermitteln, die Beziehungen zu studiren, die zwischen dem Bodenrelief, zwischen Berg, Wald, Sumpf und Kulturland einerseits und der Regenhäufigkeit, Regenmenge und Bedeckung andererseits bestehen. Derartige Ermittlungen lassen sich selbstverständlich nur mit Hilfe zahlreicher, besonders dem genannten Zwecke dienender agrarmeteorologischer Stationen durchführen; in dieser Hinsicht bleibt auch in Deutschland noch viel zu thun übrig.

Sehr zu wünschen wäre es namentlich auch, dass die Gewitterprognose mehr ausgebildet würde. Hierfür könnte wohl, abgesehen von den betreffenden Erörterungen in den voraufgegangenen Kapiteln, folgende Wahrnehmung von Prestel und Buys-Ballot von Nutzen sein:

Erhebt sich an einem Orte die Temperatur jeweilig über die dort geltende Mitteltemperatur, so ist ein Gewitter dann zu erwarten, wenn gleichzeitig der Barometerstand bei seinem Übergange sich soweit verändert hat, dass er mit dem mittlern Barometerstande des Beobachtungsortes nahe übereinstimmt.

Ganz besonders wichtig ist für die landwirtschaftliche Meteorologie die Prognose der Nachtfroste, und für diesen Zweck scheint es neuerdings gelungen zu sein, ein recht sicheres Kriterium zu finden und dabei ein solches, dessen Ermittlung auch dem mit der Handhabung meteorologischer Messinstrumente wenig vertrauten Beobachter ohne Schwierigkeit möglich ist. Beobachtungen von Kammermann und namentlich von C. Lang haben es ermöglicht, folgende Regel aufzustellen:

Nachtfrost tritt nicht ein, wenn der Taupunkt der Luft über dem Gefrierpunkte liegt; Nachtfrost muss zwar nicht, kann aber sehr leicht eintreten, wenn der Taupunkt unter 0° liegt.

Der Begriff des Taupunktes ist von Seite 13 her bekannt. Hat man ein Psychrometer zur Verfügung (die Handhabung desselben wird im nächsten Abschnitt „Physikalische Untersuchung der Luft“ beschrieben), so hilft eine einfache Zeichnung dazu, die Wahrscheinlichkeit oder Unwahrscheinlichkeit von Nachtfrost für die nächste Nacht zu bestimmen. Wir entnehmen die entsprechenden Angaben einem Vortrage von C. Lang¹⁾. Man trägt auf einer (horizontalen) Abszissenachse die Temperaturen in gleichem Abstände nach einem beliebigen Massstabe auf; weiter errichtet man in jedem einzelnen Teilpunkte auf der Achse ein Lot und schneidet auf jedem Lot eine Strecke ab, die die zugehörige Psychrometerdifferenz (ebenfalls in beliebigem Massstabe) wiedergibt. Unter der Psychrometerdifferenz versteht man, wie später bei der Erläuterung des Psychrometers erörtert wird, den Unterschied zwischen den Angaben des trocknen und des feuchten Thermometers. Die so bestimmten Endpunkte aller Lote werden durch eine Kurve verbunden, wie dies in nachstehender Figur 6 ersichtlich ist. Mit einem solchen Schema

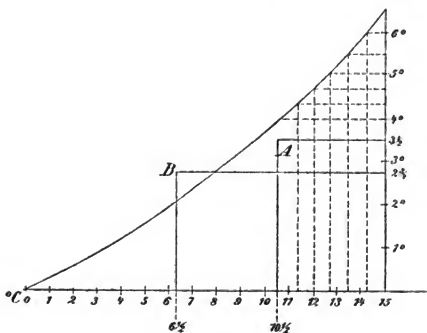


Fig. 6.

kommt man dann ein für allemal aus; man braucht es nur einmal zu zeichnen und kann es dann stets wieder benutzen. Günther (l. c.) sagt darüber: „An jedem Abende eines Tages, dessen man nicht von vornherein sich versichert halten darf, befragt man das Psycho-

1) C. Lang, Die Vorausbestimmung des Nachtfrostes; Vortrag, gehalten im Gartenbauverein zu München. Braunschweig 1897.

meter und Thermometer, geht in der horizontalen Linie bis zu dem mit dem Stande des Wärmemessers korrespondierenden Punkte, errichtet daselbst eine Senkrechte und trägt auf dieser wiederum die den Stand des Feuchtigkeitsmessers zum Ausdruck bringende Strecke ab. Liegt dieser Endpunkt unterhalb der Kurve, so ist das Eintreten von Nachtfrost um so unwahrscheinlicher, ein je grösserer Zwischenraum das Ende der Senkrechten von der Kurve trennt; sobald der Endpunkt hingegen auf der Kurve oder oberhalb derselben erblickt wird, kann auf das Erscheinen des gefürchteten Pflanzenfeindes mit ziemlicher Sicherheit gerechnet werden. Zwei Beispiele erläutern die obige Anweisung. Einmal entsprach der Angabe des trockenen Thermometers $10\frac{1}{2}^{\circ}$ eine Psychrometerdifferenz $3\frac{1}{2}^{\circ}$, dann liegt der Punkt *A* diesseits der krummen Linie, die Gefahr ist sehr gering; im zweiten Falle entsprach dem Thermometerstande $6\frac{1}{4}^{\circ}$ eine Psychrometerdifferenz $2\frac{3}{4}^{\circ}$ und man sieht, dass Punkt *B* sich jenseits der krummen Linie befindet und durch diese seine Lage einen Nachtfrost prognostiziert.“

Zur Erläuterung sei bemerkt, dass bei der Konstruktion der Kurve naturgemäss diejenigen Psychrometerdifferenzen abgetragen werden, die einem Taupunkte von 0° entsprechen. Auf Seite 12 ist erörtert, dass die Luft bei 0° höchstens 4,871 g Wasserdampf in 1 cbm enthalten kann; bei höherer Temperatur kann sie mehr, bei niedrigerer kann sie weniger Wasser in Dampfform in sich aufnehmen. Eine absolute Feuchtigkeit von 4,871 g in 1 cbm Luft entspricht also einem Taupunkt von 0° ; bei höherer absoluter Feuchtigkeit liegt der Taupunkt über 0° , während ein Wasserdampfgehalt von weniger als 4,871 g einem Taupunkte unter 0° entspricht. Vergleichen wir Fig. 6 und verlängern die Senkrechte vom Punkte *A* nach oben bis zur Kurve, so trifft sie in ihrem Schnittpunkte mit dieser die Horizontale, die der Psychrometerdifferenz von 4° entspricht; in der That lässt sich ausrechnen, dass bei einer Luftwärme von $10\frac{1}{2}^{\circ}$ und einer Psychrometerdifferenz von 4° die absolute Feuchtigkeit 4,87 g pro cbm betragen muss. Die Art der Berechnung ist ebenfalls gelegentlich der Handhabung des Psychrometers erläutert. Man hat nicht nötig, die Kurve nach eigenen Berechnungen aufzustellen, sondern kann sie direkt von Fig. 6 abpausen. Im übrigen sei nochmals betont, dass diese graphische Darstellung nur eine Hilfsbrücke ist; es genügt in jedem Falle die absolute Feuchtigkeit zu kennen, um auf den Taupunkt schliessen zu können. Es giebt übrigens auch Instrumente, die eine direkte Bestimmung des Taupunktes gestatten; man nennt dieselben Kondensationshygrometer.

Eine ähnliche graphische Konstruktion hat Lang für Be-
Blücher, Die Luft.

obachter durchgeführt, denen nicht ein Psychrometer, sondern nur ein Haarhygrometer nach Koppe oder Saussure zur Verfügung steht.

Ist auf die eine oder andere Weise ein Taupunkt von 0° oder darunter ermittelt worden, so hat der Landmann Ursache, die Wirkung der Bodenausstrahlung zu fürchten, und er muss versuchen, Mittel anzuwenden, um dieselbe einzudämmen. In manchen Gegenden sucht man zur Abwehr des Nachtfrostes die Luft durch Erzeugung von Rauch künstlich zu trüben; die Rauchwolke wirft die der Erde entstrahlende Wärme wieder zur Erde zurück und verrichtet so denselben Dienst, den in ihrer Art die Fenster eines Gewächshauses leisten.

Es bleibt nun noch übrig, die meteorologischen Aufzeichnungen zu erörtern, d. h. die Zeichen der Wetterkarten zu erklären.

Bevor wir auf die Zeichen der deutschen Wetterkarte eingehen, seien hier der Vollständigkeit wegen die Beaufortschen Wetterbezeichnungen aufgeführt, weil sie sich auf den weit verbreiteten englischen Karten finden.

Beauforts Bezeichnung des Wetters.

Zeichen

- b. Blauer Himmel, sei er klar oder mit einem Hauch überzogen.
- c. Wolken (einzelne).
- d. Sprühregen.
- f. Nebel.
- g. Sehr trüb.
- h. Hagel.
- l. Blitz.
- m. Nebelige Luft, Dunst.
- o. Gang bedeckt (mit einem undurchdringlichen Wolken-schleier).
- p. Regenguss (vorübergehend).
- q. Böig (Windstöße).
- r. Regen, andauernd.
- s. Schnee.
- t. Donner.
- u. Bedrohlicher Himmelsanblick.
- v. Durchsichtigkeit der Luft (sei der Himmel bewölkt oder nicht).
- w. Tau.

In den deutschen meteorologischen Karten findet man folgende vereinbarte Zeichen:

⊙ Regen.	⊖ Tau.
* Schnee.	⊔ Reif.
▲ Hagel.	⚡ Schneegestöber.
△ Graupeln.	⚡ Gewitter.
≡ Nebel.	⚡ Blitz, Wetterleuchten.
~ Glatteis.	√ Rauhrost ¹⁾ .

Der Regen wird übrigens auf den Karten der deutschen Seewarte nur durch einen Punkt = • dargestellt, und zwar gelten dabei folgende Zeichen hinsichtlich der in den letzten 24 Stunden gefallenen Regenmengen:

1—5 mm = •	6—10 mm = ••
11—20 „ = •••	über 20 „ = ••••

Hinsichtlich der Bewölkung sind die gebräuchlichen Zeichen schon auf Seite 72 abgebildet. Ein leerer (weisser) Kreis ist das Zeichen für wolkenlosen Himmel; die Stärke der Bewölkung wird durch schwarze Ausfüllung eines mehr oder weniger grossen Teiles dieses Kreises ausgedrückt.

Was die Windrichtung und Windstärke anlangt, so wurde darüber schon auf Seite 97 erklärt, dass die Windrichtung durch einen vom Beobachtungsort ausgehenden, mit dem Winde fliegenden Pfeil dargestellt wird, und dass die Befiederung der Pfeile die Windstärke nach der halben Beaufort-Skala (1 Strich = schwacher Wind, 6 Striche = Orkan) wiedergegeben wird. Windstille wird durch das Zeichen ⊙ angedeutet.

Durch die Güte der deutschen Seewarte, der dafür besonderer Dank ausgesprochen sei, ist Verfasser in der Lage, zwei Wetterkarten der deutschen Seewarte wiederzugeben, die sich auf Donnerstag den 5. Januar 1899 beziehen.

Fig. 7 (Seite 148) giebt für den genannten Tag, und zwar morgens um 8 resp. 7 Uhr²⁾, den Luftdruck, den Wind und die Bewölkung wieder. Die eingezeichneten Linien sind die Isobaren; sie verbinden die Orte mit gleichem Barometerstand, nachdem dieser auf den Meeresspiegel reduziert ist, und zwar werden sie immer von 5 zu 5 mm eingetragen. Die Isobaren von 760 mm, als dem Normalbarometerstande, sind fett gedruckt, die Isobaren der darüber liegenden Barometerstände in dünnen aus-

1) Einige seltene Bezeichnungen sind hier weggelassen.

2) Alle im Schema des Wetterberichtes aufgeführten Zeitangaben beziehen sich auf Ortszeit.

gezogenen Linien, die Isobaren unter 760 mm in punktierten Linien dargestellt.



Fig. 7.

Die eingeschriebenen Worte geben die Änderung des Luftdruckes seit dem Vorabende an.

Die Zahlen beziehen sich auf das Barometer, doch ist dabei die 7 (= 700) weggelassen; es ist also z. B. 68,3 = 768,3 mm. —

Die Karte Fig. 8 verzeichnet für denselben Tag und dieselbe Zeit die Temperatur, die Niederschläge und den See-



Fig. 8.

gang. Die eingeschriebenen Worte geben die Änderung der Temperatur in den letzten 24 Stunden an. Die eingezeichneten Linien sind die Isothermen; sie verbinden die Orte, an denen die Lufttemperatur zur Zeit der Beobachtung gleich war.

Der Seegang ist durch römische Ziffern (I—IX) ausgedrückt, $s = 0 =$ schlicht.

Am interessantesten ist von beiden Karten Fig. 7. Wir sehen darin ein ausgedehntes Gebiet hohen Druckes, das sich von Spanien und vom Meerbussen von Biscaya her über Südfrankreich und Süddeutschland erstreckt. Gebiete tiefen Druckes sind mehrere vorhanden; besonders ausgeprägt ist das Minimum, das im Norden und Nordosten von Irland liegt und bis Skandinavien heranreicht. Eine weitere Cyklone ist nördlich von Dänemark zu erblicken.

Zu diesen Karten gab die deutsche Seewarte folgende Erläuterung:

Allgemeine Übersicht der Witterung
am 5. Januar, 8 (7) Uhr morgens.

„Ein ziemlich tiefes Minimum liegt über dem norwegischen Meere, einen Ausläufer nach der westlichen Ostsee entsendend.
„Auf den Shetlands herrscht schwerer Westnordweststurm. Ein
„Hochdruckgebiet erstreckt sich von der Biscayasee ostwärts nach
„Österreich hin. Auf den britischen Inseln ist das Barometer stark
„gestiegen, dagegen über Skandinavien stark gefallen. In Deutschland ist das Wetter mild und vorwiegend trübe; nur in dem west-
„deutschen Küstengebiete herrscht meist heitere Witterung; fast
„allenthalben ist seit gestern Niederschlag gefallen.

Aussichten für die Witterung des 6. Januar in:

„Nordwestdeutschland: Ruhiges, etwas kälteres, vielfach
heiteres Wetter. Keine oder geringe Niederschläge.
„Ostdeutschland: Mildes, meist trübes Wetter mit frischen,
meist südwestlichen Winden. Stellenweise Niederschläge.
„Süddeutschland: wie Nordwestdeutschland.“

Wir haben gemeint, eine derartige Witterungskarte mit den daraus gezogenen Schlüssen wiedergeben zu sollen, weil wir der Ansicht sind, dass man so den besten Überblick über die Zwecke und den Wert der synoptischen Meteorologie, wie auch über die Art ihrer Thätigkeit gewinnen kann.

In neuerer Zeit mehren sich wieder die Stimmen, die einen engen Zusammenhang zwischen den Luftbewegungen und dem Stande der Weltkörper lehren. Es ist besonders Falb, der aus der Stellung des Mondes zur Erde das Wetter allein bestimmen zu können

glaubt. Er lehrt, dass der Mond, ebenso wie er die Gezeiten des Meeres, also Ebbe und Flut zustande bringt, anderseits auch atmosphärische Gezeiten hervorruft. Das ist ohne Zweifel richtig, aber genaue Berechnungen haben ergeben, dass die durch die tägliche Bewegung des Mondes im Verlaufe von 24 Stunden zweimal hervorgerufene Lunarflut der Atmosphäre nur einen überaus kleinen Betrag ergibt. Wohl werden sich die atmosphärischen Gezeiten in kleinen Luftdruckschwankungen zeigen, aber in so kleinen, dass sie gegenüber den terrestrischen Einflüssen gänzlich verschwinden. Der Fehler aller jener Wetterpropheten, die den Mond als ausschlaggebenden Witterungsfaktor ansehen, ist kein solcher im Prinzip; er besteht nur darin, dass diese Meteorologen die genannten Einflüsse ausserordentlich überschätzen. Man muss sich demnach den Ausführungen Günthers¹⁾ durchaus anschließen:

„Die lunarischen Gezeiten sind nicht stark genug, um erhebliche Veränderungen im Bewegungszustande unserer Luft-hülle von sich aus zu bewirken, wohl aber stark genug, um schon vorhandene Bewegungsvorgänge leicht unterstützend und hemmend zu beeinflussen und auch unter günstigen Verhältnissen, wie sie sich etwa zwischen den Wendekreisen darbieten, messbare Oszillationen des Barometers hervorzubringen. Die Niederschlagsquanta erscheinen der Mond-bewegung gegenüber durchaus indifferent, wogegen Regenhäufigkeit, Windrichtung, Windstärke und der Grad der Wolkenbedeckung von den Stellungen des Mondes — in unbedeutendem Masse — abhängig erscheinen. Dabei darf ebensowohl den an der oberen Grenze unserer Atmosphäre verschluckten dunklen Wärmestrahlen des Mondlichtes, wie auch den zweifellos vom Körper unseres Begleiters ausstrahlenden magnetisch-elektrischen Kräften eine gewisse, wenn schon graduell unerhebliche und ihrer Art nach noch nicht näher bekannte Einwirkung zugeschrieben werden.“

Genau dasselbe gilt vom Einflusse der Sonne; andere Gestirne kommen gegenüber der Erde überhaupt nicht in Betracht.

Einen unleugbaren Einfluss auf die Witterung scheint der Wechsel in der Frequenz der Sonnenflecke (vgl. Anm. Seite 111) zu haben; doch werden auch hier wohl mehr die allgemeinen klimatischen Verhältnisse beeinflusst, als der eigentliche Wetterwechsel.

1) Günther, Der Einfluss der Himmelskörper auf Witterungsverhältnisse. II. Aufl. Nürnberg 1884.

Die Untersuchung der Luft.

A. Physikalische Untersuchung.

1. Temperatur.

Es ist als bekannt vorauszusetzen, dass Apparate zur Bestimmung der Temperatur eines Körpers den Namen *Thermometer* führen. Die Thermometer beruhen auf dem physikalischen Gesetz, dass sich alle Körper beim Erwärmen ausdehnen und beim Abkühlen wieder zusammenziehen. Diese Volumänderung kann in gewissem Grade als Massstab der herrschenden Wärme dienen.

Am gebräuchlichsten sind Flüssigkeitsthermometer; bei diesen werden die Raumänderungen einer Flüssigkeitssäule zur Messung des Temperaturgrades benutzt. Als Flüssigkeit dient teils Weingeist, der der besseren Sichtbarkeit wegen gefärbt wird, teils — und zwar vornehmlich — Quecksilber.

An jedem Thermometer sind drei Teile zu unterscheiden, nämlich die eben behandelte Füllung, weiter die Röhre und endlich die Skala.

Die Röhre des Thermometers besteht aus Glas; sie hat eine sehr geringe Innenweite, die aber an allen Punkten gleich ist. Unten erweitert sich die Röhre zu einem Vorratsgefäß, das kugelig oder länglich (cylindrisch) gestaltet ist. Der Teil der Röhre über der Füllung ist luftleer; das obere Ende zugeschmolzen.

Die Skala ist die Einteilung, an der die Wärmegrade nach dem Stande der Thermometerflüssigkeit abgelesen werden.

Es gibt verschiedene Thermometereinteilungen; am gebräuchlichsten ist davon die nach Celsius, die man auch als hundertteilige Skala bezeichnet. Weiter sind die Reaumurische Teilung (achtzigteilige Skala) und die Fahrenheitsche Teilung (hundertachtzigteilige) im Gebrauch.

Die bei diesen Skalen genannten Teile beziehen sich auf den Abstand zwischen den thermometrischen Fix- oder Fundamental-

punkten. Als solche dienen einerseits der Gefrierpunkt des Wassers¹⁾ und anderseits der Siedepunkt des Wassers bei 760 mm Druck.

Der zwischen beiden Punkten liegende Fundamentalabstand ist bei Celsius in 100 Teile, bei Reaumur in 80 Teile, bei Fahrenheit in 180 Teile eingeteilt. Celsius und Reaumur bezeichnen den Eispunkt mit 0 Grad, sodass der Siedepunkt des Wassers (unter normalem Druck von 760 mm) bei 100° Celsius = 80° Reaumur liegt. Fahrenheit beginnt seine Skala nicht beim Eispunkt, sondern willkürlich um 32 seiner Grade darunter. Nach der Fahrenheit'schen Skala gefriert also das Wasser bei 32° über 0, während es bei 212° siedet.

Alle Skalen bezeichnen die Grade über Null mit dem Vorzeichen + (plus), die Grade unter Null mit dem Vorzeichen — (minus). Celsius wird mit C, Reaumur mit R, Fahrenheit mit F abgekürzt. Vulgär werden die Minusgrade der Celsius- und Reaumurgrade auch kurzweg als „Kältegrade“ bezeichnet, was natürlich nur von der subjektiven Empfindung hergenommen ist und keinen prinzipiellen Unterschied dieser geringen Wärmegrade von den über Null liegenden, höheren ausdrückt.

Für wissenschaftliche Zwecke bedient man sich neuerdings fast ausschliesslich der Einteilung nach Celsius, die auch naturgemäss die praktischste ist, weil sie mit dem Dezimalsystem zusammenfällt. Bis vor kurzem benutzten die breiten Schichten der deutschen Bevölkerung mit Vorliebe die Reaumurskala; in neuester Zeit hat auch hier das Eingreifen der Schule zu Gunsten der Celsiusteilung gewirkt. In England und Amerika hält man leider noch fast überall an der unpraktischsten aller Teilungen, der nach Fahrenheit, fest.

Zur Ergänzung geben wir die Formeln für die Umrechnung der verschiedenen Skalengrade in einander:

$$x^{\circ} \text{ C.} = \frac{4}{5} x^{\circ} \text{ R.} \quad 2)$$

$$x^{\circ} \text{ C.} = \left(\frac{9}{5} x + 32 \right)^{\circ} \text{ F.} \quad 3)$$

1) Es ist dabei reinstes, destilliertes Wasser gemeint.

2) Bei Umrechnung von Celsius- in Reaumur- und von Reaumur- in Celsiusgrade bleibt das Vorzeichen dasselbe, d. h. +° R. geben +° C.; —° R. geben —° C.

3) Beispiel: a) $-15^{\circ} \text{ C.} = \left(\frac{-15 \cdot 9}{5} + 32 \right)^{\circ} = -27 + 32 = +5^{\circ} \text{ F.}$

b) $-20^{\circ} \text{ C.} = \left(\frac{-20 \cdot 9}{5} + 32 \right)^{\circ} = -4^{\circ} \text{ F.}$

$$x^{\circ} \text{ R.} = \frac{5}{4} x^{\circ} \text{ C.}$$

$$x^{\circ} \text{ R.} = \left(\frac{9}{4} x + 32 \right)^{\circ} \text{ F.}$$

$$x^{\circ} \text{ F.} = (x - 32) \cdot \frac{5}{9}^{\circ} \text{ C.}$$

$$x^{\circ} \text{ F.} = (x - 32) \cdot \frac{4}{9}^{\circ} \text{ R.}$$

Ausser Quecksilber und Weingeist wird auch Luft als Thermometerfüllung verwendet. Die so konstruierten Thermometer, die sogen. Luftthermometer, sind sehr genau, werden aber wegen mannigfacher Umständlichkeiten nur zu den feinsten wissenschaftlichen Messungen verwandt. Die Anordnung ist darin so, dass ein grösseres Gefäss, und zwar meist ein solches aus Glas¹⁾, mit Luft gefüllt ist, und dass die Öffnung dieses Gefässes in dichter Verbindung mit einer U-förmig gebogenen, engen Glasröhre steht, in der sich ein Tropfen Quecksilber — Quecksilberfaden — befindet. Die Verschiebung des Quecksilberfadens, die man auf einer Skala abliest, gestattet einen Rückschluss auf die Ausdehnung des Luftvolumens im eigentlichen Thermometergefäss, also auch einen Schluss auf die herrschende Luftwärme.

Schliesslich sind auch Metallthermometer im Gebrauch. Werden zwei Streifen von Metallen mit ungleichen Ausdehnungskoeffizienten auf einander gewalzt, so muss bei Temperaturänderungen ein derartiger Kompensationsstreifen eine Krümmung erleiden, weil eben der eine (äussere) Streifen durch die Wärme länger wird, als der andere (innere) Teil. In den Metallthermometern wird die Bewegung des Kompensationsstreifens durch eine Hebel-Zahnradübersetzung auf einen Zeiger übertragen. Für die Bestimmung der Luftwärme im Freien sind Metallthermometer nicht geeignet, weil die Metallteile schon nach verhältnismässig kurzer Zeit durch die atmosphärischen Einflüsse angegriffen werden.

Die hauptsächlich gebrauchten Quecksilber- und Weingeistthermometer müssen von Zeit zu Zeit auf ihre Richtigkeit geprüft

1) Die Schwierigkeit im Gebrauche des Luftthermometers liegt darin, dass die Ausdehnung des grossen Thermometergefässes mit berücksichtigt werden muss. Bei den kleinen Abmessungen der Quecksilber- und Weingeistthermometer kommen Korrekturen hinsichtlich der Ausdehnung der Glasteile nicht in Betracht.

werden, und zwar hauptsächlich deshalb, weil die meisten Glassorten bei längerem Lagern und zumal bei schroffen Temperaturänderungen — wie sie den Thermometern meistens nicht erspart bleiben — eine starke Molekularverschiebung erleiden, die sich in einer Zusammenziehung offenbart. „Alle ¹⁾ Thermometer haben dementsprechend den Nachteil, dass sie mit der Zeit Veränderungen erfahren, welche Unrichtigkeiten der Gradangaben bedingen. Diese Veränderungen sind zweierlei Art: 1. dauernde und 2. vorübergehende Änderungen. Die ersteren, die dauernden Veränderungen, treten bei neuen Thermometern ein, bei welchen der Eispunkt infolge der allmählich (durch den Luftdruck) eintretenden Zusammenziehung des Gefäßes in die Höhe rückt und erst nach längerer Zeit zur Ruhe gelangt. Dasselbe findet statt durch Erhitzen des Glases. Beim Jenaer Normalglas, welches gegenwärtig zu den besseren Thermometern in Deutschland verwendet wird, sind diese Erhebungen des Eispunktes nach starker Erhitzung am geringsten (mindestens dreimal geringer, als bei den besten andern Glassorten). Die Thermometer aus Jenaer Normalglas sind durch einen roten Längsstrich an der Röhre kenntlich gemacht. Dieselben zeigen weiterhin den Vorteil, dass eine 24stündige Erhitzung auf 300°, vor Herstellung der Skala, genügt, um den Eispunkt unveränderlich zu machen, resp. die Veränderung auf unerhebliche Grössen einzuschränken.

Die vorübergehenden Änderungen der Thermometer treten nach kürzeren Erwärmungen, z. B. nach Siedepunktsbestimmungen ein und bestehen in einer zeitweiligen Erniedrigung oder „Depression“ der thermometrischen Angaben. Da diese beiden Veränderungen der thermometrischen Angaben, die dauernden und veränderlichen, in der Regel am Eispunkt des Thermometers (d. h. durch die Bestimmung des Eispunktes) gemessen werden, so spricht man vom „Anstieg“ (oder „Erhebung“) und von der „Depression“ des Eispunktes. Auch die Depressionen des Eispunktes sind beim Jenaer Normalglas am geringsten, nämlich nach Erwärmungen auf 100° höchstens 0,06°, während sie bei Thermometern aus anderm Glas 0,6° und darüber betragen. Diese vorübergehenden Veränderungen (Depression des Eispunktes) sind somit sehr klein (gegenüber den durch mehrstündige Erhitzung erzeugten bleibenden Eispunktserhebungen) und sie verschwinden zum grösseren Teil schon nach Tagen, vollständig aber meist erst nach Monaten.“

Für meteorologische Wärmemessungen sind in unsern Breiten nur Quecksilberthermometer aus Jenaer Normalglas zu empfehlen, während in den arktischen Regionen bei hohen Kältegraden nur das

1) Aus Emmerich und Trillich, Anleitung zu hygienischen Untersuchungen. II. Aufl. München 1892.

Weingeistthermometer verwendbar bleibt, weil Quecksilber bei $-39,4^{\circ}$ C. erstarrt.

Es würde hier zu weit führen, die Methoden zu beschreiben, die man zur Bestimmung und Nachprüfung der thermometrischen Fundamentalpunkte anwendet. Andeutungsweise sei bemerkt, dass zur Ermittlung des Eispunktes die Thermometerkugel in schmelzendes Eis oder schmelzenden Schnee eingebettet wird; Eis und Schnee müssen für diesen Zweck ganz rein sein, ersteres also sogen. „Kristalleis“, das aus destilliertem Wasser hergestellt wird ¹⁾. Die schmelzende Masse befindet sich dabei in einem Trichter, aus dem das Schmelzwasser unten ablaufen kann. — Zur Ermittlung des Siedepunktes wird das Thermometer in einen Dampfentwicklungsapparat hineingebracht, worin es — abgesehen von dem dem Siedepunkte zunächst liegenden Skalenteil — ganz von strömendem Wasserdampf umgeben ist. Man hat bei der Ablesung genau den Barometerstand zu berücksichtigen, da der Siedepunkt des Wassers nur unter 760 mm Druck gerade bei 100° C. liegt, während er bei einem höheren Barometerstande mehr, bei einem niedrigeren Barometerstande weniger als 100° C. beträgt. Wir geben über das Verhältnis zwischen Barometerstand und Siedepunkt folgende Tabelle von Regnault wieder: siehe Tabelle Seite 157.

Da bei ganz genauen Messungen schon die Annäherung des Körpers den Thermometerstand beeinflussen kann, so liest man in solchen Fällen — namentlich im Winter, wo die Körperwärme das Thermometer sogleich zum Steigen bringt — in einem Abstände von mehreren Metern mit Hilfe eines Fernrohres, Opernglases u. s. w. ab.

Sehr wichtig ist der Stand, also die Aufhängung der Thermometer zur Bestimmung der Luftwärme. Bei weitem nicht unter allen Umständen giebt ein im Freien hängendes Thermometer die wahre Lufttemperatur an.

Vor allem muss die Thermometerkugel und das Thermometer überhaupt vor den Strahlen der Sonne geschützt sein, welchen Stand diese auch immer einnimmt. Aber auch vor der Einwirkung der reflektierten Sonnenstrahlen ist das Thermometer ängstlich zu hüten; namentlich Wasserflächen sind oft schuld an falschen Angaben nahe hängender Thermometer, weil sie die Sonnenstrahlen reflektieren und unter Umständen nach dem Thermometer zurücksenden. Selbstverständlich können auch andere Wärmequellen ²⁾ ein in der Nähe hängendes Thermometer schädigend beeinflussen.

1) Verunreinigungen im Eis und Schnee, namentlich Salze, erniedrigen den Schmelzpunkt ausserordentlich.

2) Als Wärmequellen kommen unter Umständen auch „Kälte“ ausstrahlender Körper, wie z. B. Eis in Betracht.

*Siedepunkte des (destillierten) Wassers in Grad Celsius bei verschiedenen
Barometerständen.*

(Nach Regnault.)

mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.
580	92,62	670	96,51	696	97,56	722	98,57	748	99,56
585	92,84	671	96,55	697	97,60	723	98,61	749	99,59
590	93,07	672	96,59	698	97,64	724	98,65	750	99,63
595	93,30	673	96,64	699	97,68	725	98,69	751	99,67
600	93,52	674	96,68	700	97,72	726	98,73	752	99,71
605	93,75	675	96,72	701	97,76	727	98,76	753	99,74
610	93,97	676	96,76	702	97,79	728	98,80	754	99,78
615	94,19	677	96,80	703	97,83	729	98,84	755	99,82
620	94,41	678	96,84	704	97,87	730	98,88	756	99,85
625	94,62	679	96,88	705	97,91	731	98,92	757	99,89
630	94,84	680	96,92	706	97,95	732	98,95	758	99,93
635	95,05	681	96,96	707	97,99	733	98,99	759	99,96
640	95,27	682	97,00	708	98,03	734	99,03	760	100,00
645	95,48	683	97,04	709	98,07	735	99,07	761	100,04
650	95,69	684	97,08	710	98,11	736	99,11	762	100,07
655	95,90	685	97,12	711	98,15	737	99,14	763	100,11
660	96,10	686	97,16	712	98,19	738	99,18	764	100,15
661	96,14	687	97,20	713	98,22	739	99,22	765	100,18
662	96,19	688	97,24	714	98,26	740	99,26	766	100,22
663	96,23	689	97,28	715	98,30	741	99,29	767	100,26
664	96,27	690	97,32	716	98,34	742	99,33	768	100,29
665	96,31	691	97,36	717	98,38	743	99,37	769	100,33
666	96,35	692	97,40	718	98,42	744	99,41	770	100,37
667	96,39	693	97,44	719	98,46	745	99,44	775	100,55
668	96,43	694	97,48	720	98,50	746	99,48	780	100,73
669	96,47	695	97,52	721	98,53	747	99,52		

Weiter darf auf das Thermometer kein allzu lebhafter Luftzug einwirken. Aber ebenso wenig vorteilhaft ist es auch, wenn die benachbarte Luftmasse gänzlich stagniert, also gar keine Bewegung zeigt.

Für Messungen, die nicht die grösste Genauigkeit beanspruchen, sind die Schleuderthermometer empfehlenswert, die zuerst von Saussure angegeben sind. Es sind dies Thermometer in Hartgummi- oder Messingfassung, die an einem Faden befestigt sind und mittels dieses etwa $\frac{1}{2}$ Minute lang in einer Vertikalebene ungefähr 50mal im Kreise herum geschleudert werden. Das Schleuderthermometer hat dann einen Stand, der von der Lufttemperatur im Schatten selten mehr als $\frac{1}{2}^{\circ}$ abweicht.

Für exakte Messungen reicht dieses Verfahren aber nicht aus. Man bedient sich hierfür fast ausschliesslich der Blechgehäuse, wie

sie zuerst von Wild in Vorschlag gebracht sind und mit geringen Abänderungen noch heute von beinahe sämtlichen meteorologischen Stationen benutzt werden.

Das Wildsche Blechgehäuse ist in Fig. 9 dargestellt. Seine Mittelachse *aa* ist von der Mauer des Gebäudes 60 cm entfernt.

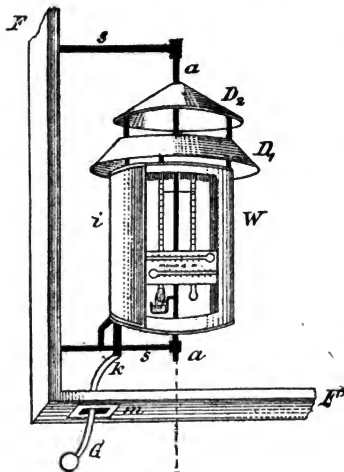


Fig. 9.

ohne das Fenster zu öffnen. Nach der Beobachtung bringt die umgekehrte Bewegung der Zugstange *G* das Schutzgehäuse wieder in seine normale Stellung und schliesst die Beobachtungstür ¹⁾.

Auch wenn das Wildsche Schutzgehäuse an der Nordseite eines Hauses befestigt ist, so wird dadurch noch nicht verhindert, dass im Sommer das Gehäuse von der Morgen- und Abendsonne direkt beschienen wird. Man hat die sich so ergebenden Fehler dadurch auszuschneiden versucht, dass man das Zinkblechgehäuse noch in eine besondere Holzhütte einschloss. Die Anbringung dieses

1) In der Zeichnung enthält das Schutzgehäuse noch ein Maximum- und ein Minimumthermometer, sowie ein Psychrometer; diese Instrumente sind weiter unten behandelt.

zweiten Schutzgehäuses ist von vielen Seiten, namentlich von dem amerikanischen Meteorologen Hazen, scharf angegriffen worden; derselbe behauptete, dass dadurch am Tage eine viel zu hohe Lufttemperatur vorgetäuscht werden müsse. Wild hat aber nachgewiesen, dass sein Schutzsystem den Effekt der Wärmestrahlen der Umgebung mindestens auf den zehnten Teil herabdrückt; er giebt nur zu, dass in seinem Schutzgehäuse die Luft etwas zu sehr stagniere. Um dem abzuhelfen, hat er in neuester Zeit sein Gehäuse erheblich verbessert; er liest jetzt gleichzeitig den Stand zweier Thermometer ab, deren eines eine blanke, deren anderes eine geschwärzte Kugel hat, und berechnet aus diesen beiden Angaben die Lufttemperatur mittels einer einfachen Formel, die er hierfür besonders aufgestellt hat. Auch kann man nach seinem Vorschlage der zu grossen Ruhe des Luftquantums in dem Blechgehäuse dadurch vorbeugen, dass man den bisherigen Boden durch einen Ventilator, ein horizontales Rad mit schrägen Blehschaufeln, ersetzt.

Für meteorologische Beobachtungen ist das gewöhnliche Thermometer ein recht unvollkommenes Instrument, zwar nicht im Prinzip, aber weil es nur den augenblicklichen Stand der Lufttemperatur abzulesen erlaubt. Will man eine Übersicht über die Schwankungen der Temperatur innerhalb enger Zeitgrenzen gewinnen, so muss man ausserordentlich viele Ablesungen machen, was nicht ohne bedeutenden Zeitverlust oder ohne geschulte Hilfskräfte möglich ist.

Für viele Zwecke kommt es darauf an, die Temperaturextreme innerhalb gewisser Zeiträume — namentlich für einen Tag — kennen zu lernen, und gerade derartige Messungen machen, auch wenn im übrigen der Gang der Wärmeschwankungen nicht in Frage kommt, eine grosse Anzahl von Beobachtungen nötig, will man nicht eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür in Kauf nehmen, dass das Maximum oder Minimum der Temperatur „verpasst“ wird.

Man bedient sich daher zur Bestimmung der Temperaturextreme nicht der gewöhnlichen Thermometer, sondern der Maximum- und Minimumthermometer, die auch den eigentlich nicht ganz passenden Namen Thermometrographen führen.

Von derartigen Instrumenten sind zahlreiche Konstruktionen vorhanden, von denen namentlich der Rutherford'sche und der Greiner'sche Thermometrograph in allgemeinem Gebrauche sind.

Das Greiner'sche Instrument ist in Fig. 10 (S. 160) wiedergegeben. Es besteht aus zwei von einander getrennten Thermometern, die beide genau horizontal hängen müssen. Das obere — ein Quecksilberthermometer — dient zur Fixierung der höchsten

Temperatur, ist also das Maximumthermometer. In seine Kugel ist ein feiner Glasstift eingeschmolzen, der bis in die Thermometerröhre hineinreicht. Dieser Glasfaden gestattet wohl das Ausfliessen aus der Kugel, solange die Temperatur anwächst; dagegen erlaubt er

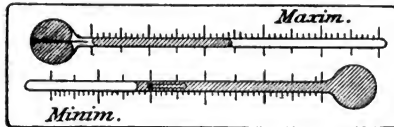


Fig. 10.

nicht das Zurückfliessen des Quecksilbers — der Quecksilberfaden reisst bei sinkender Temperatur ab und bleibt vollständig in der Röhre liegen¹⁾. Die Maximaltemperatur wird also am äussersten Ende des Quecksilberfadens (genau wie bei gewöhnlichen Thermometern) abgelesen. Will man das Maximumthermometer nach der Ablesung für eine neue Beobachtungsperiode vorbereiten, so hebt man es aus dem Gestell heraus und stösst es, die Kugel nach unten, auf die hohle Hand auf; hierdurch wird der abgerissene Faden wieder mit dem Quecksilber in der Kugel vereinigt.

Unter dem Maximumthermometer des Greinerschen Thermometrographen liegt, ebenfalls horizontal, das Minimumthermometer, dessen Konstruktion zuerst von Rutherford angegeben ist: Es ist dies ein Weingeistthermometer, in dessen Kapillarröhre ein Glaschwimmerchen mit nach aussen gewölbter Kuppe liegt. Oft hat dieses kleine Glasstäbchen eine dunkle Färbung, und es sind an seine beiden Enden kleine Perlen angeschmolzen. Erhöht sich die Temperatur, so fliesst der sich ausdehnende Weingeist an dem Glasstäbchen vorbei, ohne es fortzutragen; bei sinkender Temperatur dagegen zieht die nach innen gewölbte Kuppe des Weingeistes das Stäbchen mit zurück, sodass es bei der tiefsten Temperatur liegen bleibt. Dieses Mitnehmen des Schwimmers durch den zurückfliessenden Weingeist beruht auf der starken Flächenattraktion, die der Weingeist den Glaswandungen der Röhre gegenüber besitzt. Die tiefste Temperatur liest man an dem Knöpfchen des Schwimmers ab, das nach aussen gerichtet, also der Thermometerkugel abgewandt ist. In der Figur ist dieses Knöpfchen schwarz gezeichnet. Um das Minimumthermometer nach der Ablesung neu einzustellen, hebt man

1) Bei sinkender Temperatur entsteht also zwischen dem Quecksilber in der Kugel und dem in der Röhre ein kleiner, leerer Raum. Dasselbe Prinzip liegt den ärztlichen Maximalthermometern (Fieberthermometern) zu Grunde.

es aus dem Gestell heraus und neigt es, sodass die Kugel nach oben kommt; hierdurch fällt der Schwimmer wieder bis zur Oberfläche des Weingeistes hinab.

Von grösster Wichtigkeit ist es, dass beide Thermometer — ganz besonders das Minimumthermometer — stets wieder in genau horizontale Lage gebracht werden.

Anstatt des Maximumthermometers von Greiner wird bei andern Thermometrographen zur Bestimmung des maximalen Extrems die Konstruktion von Six verwendet; dasselbe besteht aus einem Quecksilberthermometer, dessen Faden einen Schwimmer vor sich herschiebt. Das Prinzip ist aus der nächstbeschriebenen Konstruktion zu ersehen.

Recht bequem ist der Thermometrograph von Six und Bellani, bei dem das Maximum- und das Minimumthermometer zu einem Apparate vereinigt sind. Als eigentliche thermometrische Füllung (deren Ausdehnung zur Messung der Temperatur dient) ist hier — gleichzeitig für das Maximum wie für das Minimum — Weingeist verwendet; dagegen vermittelt ein Quecksilberfaden die Bewegung der beiden Schwimmer. Das Instrument ist in Fig. 11 dargestellt; es besteht aus einem U-förmig gebogenen Glasrohr *B*, das einerseits in dem Glascylinder *A*, andererseits in der Glaskugel *C* endet. *B* ist bis zum Nullpunkt beider Skalen mit Quecksilber gefüllt; *A* und der anliegende Teil der Röhre *B* bis zum Quecksilber hinunter ist vollständig mit Weingeist gefüllt. Auch im andern Röhrenschenkel steht Weingeist über dem Quecksilber, der aber oben die Kugel *C* nicht ganz ausfüllt. Das ganze System ist selbstverständlich vollkommen geschlossen.

Bei 0° steht das Quecksilber in beiden Schenkeln des U-Rohres völlig gleich; auf den beiden Kuppen des Quecksilbers liegen federnde Stahlstäbchen (*d*), die eben wegen ihrer federnden Eigenschaft immer dort liegen bleiben, wohin sie das

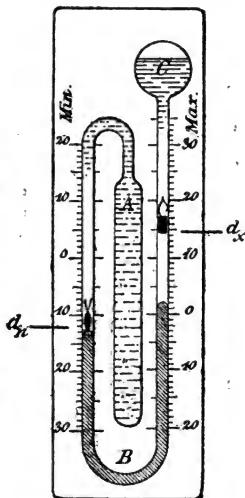


Fig. 11.

Quecksilber schiebt. Bei beiden Stäbchen zeigt das untere Ende die Temperatur an, und zwar ist am rechts gelegenen Schwimmer (d_x) auf der zugehörigen Skala das Maximum der Temperatur, dagegen an dem linken Schwimmer (d_n) das Minimum abzulesen.

Steigt die Temperatur, so dehnt sich der Weingeist in *A* aus, der Alkoholdampf in *C*¹⁾ kondensiert sich, und das Quecksilber steigt im rechten Schenkel, wobei es das Stahlstäbchen nach oben schiebt. Fällt die Temperatur wieder, so zieht sich der Weingeist in *A* zusammen, das Quecksilber sinkt rechts und steigt links; der federnde Schwimmer d_x bleibt beim Zurückgehen des Quecksilbers an seinem Standort haften, der Minimalschwimmer d_n wird in die Höhe geschoben. Das Spiel wiederholt sich mit den Temperaturschwankungen — als Resultat muss immer der Stand beider Schwimmer den Temperaturextremen entsprechen. Um nach der Ablesung den Thermometrographen für eine neue Beobachtungsperiode vorzubereiten, bedient man sich eines Magnetes, mit dem man die Stahlstäbchen wieder zur Oberfläche des Quecksilbers zurückführt. Ein Vorteil dieses Instrumentes besteht darin, dass man es in der sonst bei Thermometern üblichen Weise aufhängt und an den vertikal stehenden Skalen abliest, während die vorher beschriebene Konstruktion eine peinlich genaue horizontale Lagerung verlangt.

Neuerdings wird von vielen Seiten darauf hingewiesen, dass Metallthermometrographen die besten Resultate geben. Allerdings gilt dies nur für sehr vollkommene Konstruktionen, wie z. B. das von Herrmann und Pfister in Bern. Der beschränkte Raum gestattet uns nicht darauf einzugehen.

Erlaubt das gewöhnliche Thermometer nur die Ablesung der jeweilig zur Beobachtungszeit herrschenden Lufttemperatur und gestatten die beschriebenen Thermometrographen die Feststellung der Temperaturextreme innerhalb irgend eines Zeitraumes, so ist es doch mit den erörterten Konstruktionen immer noch nicht möglich, die Temperaturschwankungen innerhalb dieser Extreme zu ermitteln. Diesem Übelstande helfen die eigentlichen Thermographen ab, d. h. selbstregistrierende, also automatisch wirkende Thermometer. Es sind auch hier eine Menge Konstruktionen zu nennen, so die von Lamont, von Steinle und Hartung, sowie von Sendtner. Nach Erfahrungen des Verfassers bewähren sich für meteorologische Zwecke am besten die von Sendtner und weiter diejenigen Thermographen, welche Richard

1) Der Raum in *C* über dem Weingeist ist luftleer.

frères in Paris liefern. Bei diesen Konstruktionen wird teilweise die Krümmung eines Kompensationsstreifens (vgl. S. 154), teilweise die Ausdehnung einer kleinen Flüssigkeitsmenge, die sich in einer Metallkapsel befindet, durch eine Hebelübersetzung auf eine Schreibfeder übertragen. Diese zeichnet die Temperatur fortlaufend auf einer durch Uhrwerk in Umlauf gesetzten Papiertrommel auf. Genauer muss man sagen, dass das Uhrwerk eine Metalltrommel umdreht, dessen Oberfläche mit einem Papierblatt bespannt wird. Das Uhrwerk ist so reguliert, dass es innerhalb einer Woche eine ganze Umdrehung macht; nach dieser Zeit wird das Papierblatt mit der aufgezeichneten Temperaturkurve durch ein neues ersetzt, das Uhrwerk wird aufgezogen und die Feder neu mit Tinte versorgt.

Ist demnach die Handhabung des Thermographen äusserst einfach und beschränkt sie sich auf eine Manipulation, die für jede Woche nur wenige Minuten in Anspruch nimmt, so kann dem gegenüber leider nicht verschwiegen werden, dass die Genauigkeit der registrierenden Thermographen trotz aller Verbesserungen immer noch erheblich hinter der Genauigkeit guter Glasthermometer mit Quecksilberfüllung zurücksteht.

2. Luftdruck.

Dass der Luftdruck mittels des Barometers gemessen wird, und die Geschichte der Erfindung dieses wichtigsten aller meteorologischen Instrumente wurde schon auf Seite 41 und 42 erörtert. Wir fügen nochmals hinzu:

Als normaler mittlerer Barometerstand bei 0° und in der Höhe des Meeres wird 760 mm angenommen¹⁾; der Druck einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe, also der Normalluftdruck, wird eine Atmosphäre genannt. Der Druck einer Atmosphäre beträgt 1033,3 g auf 1 qcm.

Der Einteilung der Barometerskalen legt man jetzt allgemein das Millimeter zu Grunde, während früher die Barometerstände gewöhnlich in Pariser Zoll und Linien angegeben wurden.

Der Barometerstand drückt die Höhe einer Quecksilbersäule aus, der der Atmosphären-
druck augenblicklich das Gleichgewicht hält.

Wie bei den Thermometern, so hat man es auch bei den Barometern mit noch andern Füllungsflüssigkeiten ausser dem Quecksilber

1) Genau ist der mittlere Barometerstand in Meereshöhe zu 762 mm ermittelt worden, doch hat man allgemein 760 mm als Normalluftdruck vereinbart.

versucht. Immerhin hat das Quecksilber so viele Vorzüge vor allen andern in Betracht kommenden Substanzen, dass es entschieden hier durch nichts anderes mit gleichem Erfolge ersetzt werden kann. Ist das Torricellische Barometer auch in den Einzelheiten weitgehend abgeändert worden, in der Füllung hat man immer noch nichts Besseres finden können.

Die jetzt gebräuchlichen Barometerkonstruktionen sind schematisch in Fig. 12, 13 und 14 wiedergegeben:

Fig. 12 ist ein Gefäßbarometer in der einfachsten Form; es wird so auch Birnbarometer genannt. Als Quecksilbersäule



Fig. 12.



Fig. 13.



Fig. 14.

kommt natürlich die Höhe $a-b$, d. h. die Differenz zwischen beiden Quecksilberspiegeln in Betracht. Da aber die der Ablesung dienende Skala (in der Gegend des Punktes b ein für allemal fest angebracht ist, während anderseits der Quecksilberspiegel b in der Birne doch ebenfalls fortwährenden Schwankungen unterworfen ist, so ist an sich jede

Ablesung an diesem Barometer, die von einem andern Nullpunkt als dem ursprünglichen ausgeht, falsch. Für gewöhnliche Zwecke wird dieses einfache Birnbarometer dennoch angewendet; man verringert den Fehler dadurch, dass man den Querschnitt der Birne recht weit macht. Ganz aufheben lässt sich der Fehler, indem man die Skala beweglich macht; hiermit verwandelt man das Birnbarometer in ein eigentliches Gefässbarometer.

In Fig. 13 (S. 164) ist ein Gefässbarometer dargestellt, das zu den vollkommensten wissenschaftlichen Messungen dient. Es wurde von Ramsden erdacht und von Fortin und Ernst verbessert; gewöhnlich wird es als Fortinsches Gefässbarometer bezeichnet.

Die Barometerröhre steht hier in einem Glasgefässe g , das einen beweglichen Lederboden besitzt; zum Schutz ist der untere Teil von g in ein weiteres Messinggefäss eingesetzt. Der Lederboden kann vermittels einer vertikal wirkenden Schraube auf- und abbewegt werden, womit eine Hebung und Senkung des Quecksilbers in dem Gefäss g verbunden ist. Zur Einstellung benutzt man die nach unten gerichtete Elfenbeinspitze p , und zwar verändert man die Quecksilberhöhe in g solange, bis die Spitze p und ihr Spiegelbild im Quecksilber sich eben berühren. Es ist dieser Punkt mit grosser Genauigkeit zu bestimmen; erst nach dieser Einstellung erfolgt oben an der Skala die Ablesung des Barometerstandes, denn jetzt ist wieder $a-b$ die wahre Barometerhöhe¹⁾.

Dem Fortinschen Barometer ähnlich sind die Stationsbarometer nach Kapeller. Bei diesen ist keine Nullpunktmarke vorhanden; es fällt die Voreinstellung des unteren Quecksilberspiegels weg. Dafür ist die Skala von vornherein modifiziert, und zwar nach dem Verhältnis des Durchmessers der Röhre zu dem des Gefässes. Ist also ermittelt, wie hoch das Quecksilber im Gefässe steigt, wenn es im Rohre um ein Gewisses fällt, so lässt sich der jeweilige Nullpunkt aus dem Stand des Quecksilbers im Rohr berechnen. Der Reduktionsfaktor wird für jedes Instrument in der Fabrik durch Vergleich mit einem Normalbarometer ermittelt und auf den Metallboden des Barometers eingraviert.

Die dritte Art der Quecksilberbarometer sind die Heberbarometer, von denen Fig. 14 (S. 164) eine schematische Ansicht

1) Je nach der Röhrenweite ist übrigens für diese Ablesung doch noch eine Korrektion nötig; das Quecksilber steigt nämlich um so weniger hoch, je enger die Glasröhre ist.

giebt. Hier hat der lange, oben geschlossene Schenkel des Glasrohres dieselbe Weite, wie der kurze offene Schenkel; das Quecksilber muss in dem einem Schenkel ebensoviel steigen, wie es im andern Schenkel fällt. Will man den Abstand b c der beiden Quecksilberoberflächen kennen lernen, so muss man demnach 2 Ablesungen machen, nämlich die des Nullpunktes und die des Standes.

Die einfachsten Heberbarometer sind diejenigen, bei denen Barometer und Skala gegen einander unbeweglich sind. Hier liest man die Quecksilberhöhe in beiden Schenkeln ab und addiert oder subtrahiert von der Barometerhöhe soviel Millimeter, wie das Quecksilber im offenen Schenkel unter oder über dem Nullpunkt steht.

Weiter giebt es Heberbarometer, die ganz und gar beweglich sind, während die Skala mit dem Gestell fest verbunden ist. Hier verschiebt man das Barometer solange, bis die Quecksilberkuppe im kurzen Schenkel mit dem Nullpunkt zusammenfällt; dann kann man oben ohne weiteres den Stand ablesen.

Schliesslich giebt es Heberbarometer, bei denen das Barometer fest, die Skala aber beweglich ist. Es sind dabei zwei Skalen vorhanden, die eine für die Quecksilberhöhe im langen Schenkel, die andere für die im kurzen. Beide Skalen sind durch eine Messingfassung fest mit einander vereinigt, sodass jede Verschiebung des einen Theiles eine gleiche Verschiebung des andern zur Folge hat. Stellt man also unten den Nullpunkt scharf ein, so kann oben der Barometerstand direkt und ohne Korrektion abgelesen werden.

Bei den Heberbarometern ist das Ende des kurzen Schenkels in Wirklichkeit durch einen Glasstöpsel verschlossen, der eine ganz feine Durchbohrung trägt. So hat zwar die Luft den notwendigen Zutritt, aber immerhin ist die eintretende Luftmenge so gering, dass es sehr lange dauert, bevor die Quecksilberoberfläche im offenen Schenkel eine Veränderung (Oxydation) erleidet. Schliesslich verhütet der fein durchbohrte Glasstöpsel das Ausfliessen des Quecksilbers bei einem Transport. Obgleich übrigens die Oxydation des Quecksilbers im Heberbarometer nur gering ist, soll man ein solches ausser der Beobachtungszeit immer etwas schief hängen, damit das oxydierte Quecksilber im kurzen Schenkel nicht das Glas in der Höhe der Ablesung trübe macht.

Alle Barometer müssen in Räumen hängen, die nur geringen Temperaturschwankungen unterworfen sind; vor allem muss man sie sorgfältig vor der direkten Einwirkung der Sonne schützen.

Das Quecksilber der Barometer ist, wie alle Körper, der Ausdehnung durch die Wärme unterworfen. Jede barometrische Ab-

lesung erfordert demnach eine Korrektion, die den Einfluss der Wärme auf die Höhe der Quecksilbersäule ausscheidet.

Die Ausdehnung der Quecksilbersäule kann der Hauptsache nach nur in der Länge erfolgen; der Ausdehnungskoeffizient des Quecksilbers beträgt $0,00018 = \frac{1}{5550}$. Man hat sich darüber geeinigt, alle Barometerstände auf 0° zu reduzieren, also stillschweigend immer nur diejenigen Barometerstände anzugeben, denen eine Temperatur von 0° zu Grunde liegt.

Die Reduktionsformel der Barometerangaben auf 0° ist

$$h = H \frac{5500}{5550 + t} (1 + kt).$$

Dabei ist h = die auf 0° reduzierte, also gesuchte Barometerhöhe; H = beobachtete Barometerhöhe nach Korrektion für Kapillarität (siehe unten); t = Temperatur zur Zeit der Beobachtung; k = linearer Ausdehnungskoeffizient der Skala; $\frac{1}{5550}$ = Ausdehnung des Quecksilbers für 1° C. (innerhalb 0° bis 100°).

Die Kapillarität ändert sich mit der Röhrenweite (vgl. Anm. Seite 165); die aus nachstehender Tabelle zu entnehmende Zahl ist vor der Umrechnung auf 0° dem abgelesenen Barometerstand zuzufügen:

Durchmesser der Barometerröhre	Höhe des Meniskus in mm						
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
4 mm	0,60	1,16	1,65	2,05	2,35	—	—
6 mm	0,24	0,48	0,70	0,90	1,07	1,21	1,32
8 mm	0,12	0,24	0,35	0,46	0,55	0,64	0,71
12 mm	0,04	0,07	0,11	0,14	0,18	0,21	0,23

Die Korrektion braucht nur bei sehr genauen Messungen soweit zu gehen, dass auch die Ausdehnung der Skala mit berücksichtigt wird. In allen andern Fällen ergibt sich als Korrektionsformel

$$h = H \frac{5500}{5550 + t}.$$

Dabei ist H der abgelesene Barometerstand, zuzüglich der aus vorstehender Tabelle ersichtlichen Korrektionszahl für die Kapillarität der Barometerröhre. Diese Korrektion unterbleibt nur bei Heberbarometern, weil bei solchen die Kapillarität in beiden Schenkeln gleichzeitig und in gleichem Masse wirksam ist und die abgelesene Höhe der Quecksilbersäule nicht beeinflusst.

Die Ausdehnung der Skala kommt, wie gesagt, für gewöhnliche Messungen nicht in Betracht; sie ist am kleinsten bei einer Skala aus Glas, bedeutender bei einer solchen aus Metall. Die folgende Tabelle gestattet ohne weiteres die Reduktion des Barometerstandes auf 0° ohne Anstellung der durch die Formeln angedeuteten Rechnung; in dieser Tabelle ist die Ausdehnung der Skala unter Annahme einer solchen aus Messing mit berücksichtigt.

Reduktion der Barometerstände (mm) auf 0°.

Die Zahlen sind vom Barometerstand in mm abzuziehen ¹⁾.

°C.	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770
5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
10	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
11	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4
12	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
13	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6
14	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
15	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9
16	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
17	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1
18	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3
19	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4
20	2,2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
21	2,3	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6
22	2,4	2,4	2,4	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8
23	2,5	2,5	2,5	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9
24	2,6	2,6	2,6	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0
25	2,7	2,7	2,7	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1
26	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3
27	2,9	2,9	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4
28	3,0	3,0	3,1	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5
29	3,1	3,2	3,2	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7
30	3,2	3,3	3,3	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8

Wir entnehmen die vorstehende Tabelle dem Werke Emmerich und Trillich, Anleitung zu hygienischen Untersuchungen; die in derselben nicht angegebenen Werte lassen sich ohne Schwierigkeit durch Interpolation finden.

Schon mehrfach wurde in dem voranstehenden Abschnitt „Physik

1) Die Wärmeausdehnung der barometrischen Skala (aus Messing) ist in den Zahlen der Tabelle mit korrigiert.

der Luft“ darauf hingewiesen, dass eine Vergleichung der Barometerangaben verschiedener Orte nur möglich ist, wenn man den wichtigen Einfluss ausscheidet, den die Höhenlage des Ortes auf den Atmosphärendruck ausübt. Mit der Erhebung über die Erdoberfläche nimmt der Luftdruck in geometrischer Progression ab, und so müssen sämtliche Beobachtungszahlen zu vergleichenden Messungen auf das Meeresniveau reduziert werden. Diese Reduktion geschieht entweder mit Hilfe ziemlich komplizierter Formeln oder einfacher durch Tabellen, die diesen Zweck wenigstens annähernd zu erreichen gestatten. Flügge (l. c.) bringt folgende abgekürzte Tabelle für diesen Zweck; dieselbe giebt an, wie hoch eine Luftsäule ist, deren Druck gerade 1 mm Quecksilber beträgt, und zwar bei verschiedenen Barometerständen und bei verschiedenen Wärmegraden.

Höhe einer Luftsäule, deren Druck 1 mm Quecksilber das Gleichgewicht hält.

Barometerstand	+ 30° C.	+ 20° C.	+ 10° C.	0°	— 10° C.
780 mm	11,5 m	11,1 m	10,7 m	10,2 m	9,8 m
760 "	11,8 "	11,4 "	10,9 "	10,5 "	10,1 "
740 "	12,1 "	11,7 "	11,2 "	10,8 "	10,4 "
720 "	12,4 "	12,0 "	11,6 "	11,1 "	10,7 "
700 "	12,8 "	12,3 "	11,9 "	11,4 "	11,0 "
680 "	13,2 "	12,7 "	12,2 "	11,8 "	11,3 "

Auch hier lassen sich die zwischenliegenden Werte leicht durch Interpolation ermitteln. Je nach der Temperatur und dem Luftdruck, die während einer Ablesung geherrscht haben, sucht man in der Tabelle den Wert für die Höhe einer Luftsäule, die eine Druckabnahme (und anderseits eine Druckzunahme) um 1 mm Quecksilber bewirkt. Wird dann die Höhenlage des Ortes durch die so gefundene Anzahl von Metern dividiert, so erhält man diejenigen Millimeter Quecksilber, die dem abgelesenen Barometerstand hinzuzuaddieren sind, um den Barometerstand im Meeresniveau zu erhalten.

Beispiel: In Berlin (48 m überm Meeresspiegel) wird ein Barometerstand von 739,9 mm bei 20° C. beobachtet. Das Barometer hat eine Messingskala; die Barometerröhre ist 12 mm weit, der Meniskus ist zur Zeit 0,6 mm hoch.

Nach der Tabelle auf Seite 167 muss in diesem Fall 0,11 mm dem Barometerstand zuaddiert werden, es ergibt sich also 740,01 mm. Nun wird zuerst der Luftdruck auf Meeresniveau reduziert; nach der oben stehenden Tabelle hält unter 740 mm Druck und bei 20° C. eine Luftsäule von 11,7 m gerade 1 mm Quecksilber das Gleich-

gewicht. Dividiert man die Höhe des Ortes (48 m) durch 11,7, so erhält man 4,1; um soviel mm muss also der Barometerstand vermehrt werden, es ergibt sich demnach 744,11 mm im Meeresniveau bei 20° C. Zur Reduktion dieses Barometerstandes auf 0° bedienen wir uns der Tabelle auf Seite 168. Dort findet man für 20° bei 740 mm die Zahl 2,4, bei 750 mm die Zahl 2,5; demnach kann man für 744,11 die Reduktionszahl zu 2,44 berechnen. Man muss also von dem auf Meeresniveau reduzierten Barometerstand 744,11 mm zur Reduktion auf 0° 2,44 mm abziehen.

Der in Berlin bei 20° C. beobachtete Barometerstand von 739,9 mm ergibt (unter Berücksichtigung des besonderen Instrumentes) einen auf 0° und Meeresniveau reduzierten Barometerstand von 741,67 mm.

Zur Orientierung folgt die Angabe der Höhenlage einiger wichtiger europäischer Orte:

Berlin	48 m	München	528 m
Köln	60 "	Paris	34 "
London	37 "	Petersburg	10 "
Madrid	655 "	Rom	50 "
Moskau	160 "	Wien	197 "

über Meeresniveau.

Die Zerbrechlichkeit der Quecksilberbarometer, ihr schwieriger Transport und ihre nicht unbeträchtliche Grösse geben die Erklärung dafür, dass man schon seit Anfang dieses Jahrhunderts nach einem andern Mittel gesucht hat, um den herrschenden Atmosphärendruck zu bestimmen. Man ist darauf verfallen, zu diesem Zwecke kleine, luftleer gemachte Metall Dosen mit dünnwandigem Metalldeckel zu verwenden, oder auch ebensolche Metallringe; diese reagieren auf jede Aenderung des Luftdruckes durch eine Federung des Deckels oder eine Dehnung des Metallringes. Diese Bewegungen können mittels geeigneter Übersetzungen bedeutend vergrössert und auf ein Zeigerwerk übertragen werden.

Diese Grundidee lässt sich natürlich auf sehr verschiedene Weise in die Praxis übertragen, und so ist es nicht wunderbar, dass zahlreiche Abarten dieser Aneroid- oder Holostericbarometer im Handel sind. Das gebräuchlichste Aneroid ist das Federbarometer nach *Naudet*, von dem Fig. 15 (Seite 171) eine Ansicht im Querschnitt giebt.

Der wirksame Teil ist *A*, eine runde, luftleere Dose mit gewelltem Deckel *B* aus sehr dünnem Argentanblech. Mit steigendem

Luftdruck senkt sich der Deckel, mit fallendem hebt er sich. Diese Deckelbewegung wird bei dem Naudetschen Instrument in folgender Weise sichtbar gemacht:

Die Säule *C* trägt eine breite, die Dose zur Hälfte überspannende Metallfeder *D*, die schwanenhalsartig umgebogen ist; durch Stahlschneiden *E* des mit dem Deckel fest verbundenen Metallsäulchens *F* wird das Ende der Feder *D* in niedergebogener Stellung erhalten. An der Feder *D* sitzt nun fest ein Arm *G*, dessen auf- und abgehende Bewegung durch den Winkelhebel *KIH* auf ein um die

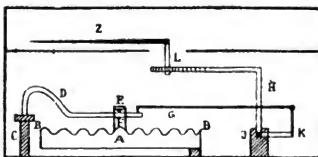


Fig. 15.

Welle *L* geschlungenes Kettenrädchen übertragen wird, also die Welle *L* in Drehung versetzt. Auf *L* sitzt oben der Zeiger *Z*, dessen Drehung auf einer Kreisskala die Schwankungen des Luftdruckes anzeigt.

Um das Instrument einzustellen und die Skala zu bezeichnen, wird in der Herstellungswerkstätte eine Vergleichung mit einem Normalbarometer vorgenommen; zur genauen Einstellung sind an dem Hebel *KIH* Stellschraubchen angebracht, die in der Figur weggelassen sind. Eine dieser Schrauben dient auch später dazu, das Instrument regulieren zu können.

Das Aneroidbarometer ist zwar sehr bequem, aber es hat weder an sich eine auch nur annähernd so grosse Genauigkeit wie das Quecksilberbarometer, noch behält es nach der Einstellung seinen richtigen Gang längere Zeit bei. Mindestens alle Halbjahr müssen die Aneroidbarometer mit einem guten Quecksilberbarometer verglichen und reguliert werden.

Der Wert des Aneroides liegt weniger in der Feststellung der zur Zeit vorhandenen absoluten Grösse des Luftdruckes, als darin, dass man die Schwankungen, die Änderungen des Luftdruckes damit leicht feststellen kann; zu diesem Zwecke ist gewöhnlich über der Skala noch ein zweiter Zeiger angebracht, den man nach der Ablesung genau über den unteren Zeiger einstellt; bei Änderungen des Luftdruckes kann man aus der Grösse des Winkels beider Zeiger auf die Grösse der Luftdruckänderung schliessen und aus dem Ausschlag nach rechts oder links bestimmen, ob das Barometer gestiegen oder gefallen ist.

Zur Beobachtung des Barometerstandes bringt man das Aneroid am besten in horizontale Lage, klopft leicht an das Gehäuse des

Instrumentes, um etwaige Hemmungen des Zeigers zu beseitigen, und bringt dann zur Ablesung das Auge genau senkrecht über den Zeiger; schliesslich darf man nicht vergessen, die Temperatur an dem zum Aneroid gehörigen Thermometer — das sich am besten innerhalb des Barometergehäuses befindet — abzulesen.

Will man aus der Ablesung am Aneroid den absoluten Barometerstand ermitteln, so bedarf es noch verschiedener Korrekturen, und zwar der Temperaturkorrektur, der Teilungskorrektur und der Standkorrektur.

„Die ¹⁾ Temperaturkorrektur giebt an, um wieviele Skalenteile die Ablesung in Millimetern bei t^0 vermindert werden muss, um den Stand bei 0^0 zu erhalten.

Die Teilungskorrektur giebt an, um wieviele Skalenteile die Ablesung verbessert werden muss, wenn das Aneroid bei 760 mm Druck berichtigt (eingestellt) wurde.

Die Standkorrektur giebt an, um wieviele Skalenteile der auf 0^0 reduzierte Stand vermehrt werden muss, um den wahren Barometerstand zu geben. Bedingt ist diese Korrektur durch kleine Fehler des Instrumentes.

Für jedes Instrument müssen daher 3 konstante Koeffizienten a , b , c bestimmt werden, und man findet den auf 0^0 reduzierten Barometerstand B_0 , wenn man bezeichnet:

- die Ablesung bei t^0 mit B
- die Temperatur mit t
- den Temperaturkoeffizienten mit a
- den Teilungskoeffizienten mit b
- den Standkoeffizienten mit c

nach der Formel

$$B_0 = B + c + b(760 - B) - a t.$$

Ebenso wie bei der Messung der Temperatur, hat man auch bei der Bestimmung des Luftdruckes schon seit langer Zeit nach Methoden gesucht, die einen genauen Ueberblick über die Schwankungen des Luftdruckes innerhalb enger Zeitgrenzen gestatten. Es sind dementsprechend verschiedene registrierende Barometer konstruiert worden, und zwar sowohl solche, denen als Beobachtungsinstrument ein Quecksilberbarometer zu Grunde liegt, als solche, die mit einem Metallbarometer arbeiten.

Von den selbstregistrierenden Quecksilberbarometern sind am

1) Nach Emmerich und Trillich l. c.

zuverlässigsten, und werden deshalb am meisten gebraucht, die sogenannten *Wagebarometer*, bei denen die Gewichtsänderung der Barometerröhre durch einen Schreibstift registriert wird. Es ist ja klar, dass die Barometerröhre — ein Gefässbarometer vorausgesetzt — um so schwerer wird, je stärker der Luftdruck ist, je mehr Quecksilber sich also in der Röhre befindet. Immerhin sind manche Übelstände mit den Wagebarometern und den auf dem gleichen Prinzip beruhenden Verbesserungen verknüpft, und so ist es nicht wunderbar, dass man sich ziemlich allgemein der selbstregistrierenden *Aneroidbarometer* bedient.

Bei den Registrierbarometern aus Metall ist eine grössere luftleer gemachte Kapsel aus dünnem Metallblech vorhanden, deren durch die Luftdruckschwankungen verursachte Volumänderungen mittels einer Übersetzung auf einen langen Metallstab übertragen werden; an der Spitze dieses Stabes ist eine Hohlfeder angebracht, in die flüssige Tinte eingegossen wird. Die Spitze dieser Feder berührt eine runde Metalltrommel, um die eine Papierrolle — mittels Metallstäbchen festgehalten — gespannt ist. Auf dieser Papierrolle sind in Form eines Netzwerkes die Tageszeiten und der Luftdruck (von 5 zu 5 mm) angegeben. In der Metalltrommel befindet sich ein acht Tage laufendes Uhrwerk, das die Trommel in Drehung versetzt. Ist das Uhrwerk aufgezogen, und dreht sich die Trommel, so markiert die Feder ununterbrochen auf dem Papier den augenblicklichen Barometerstand. Die Uhr muss in jeder Woche einmal aufgezogen werden; gleichzeitig wird an die Stelle des abgenommenen Papierstreifens ein neuer aufgespannt und auch neue Tinte in die Feder eingefüllt. Man sieht, dass die eigentliche Registriervorrichtung dabei genau die gleiche ist, wie sie für das selbstregistrierende Thermometer auf Seite 163 beschrieben wurde. Wie dieses wird auch das Registrierbarometer von Richard frères in Paris angefertigt.

3. Feuchtigkeit.

Für die Bestimmung der Feuchtigkeit kennt man verschiedene Methoden.

Am genauesten ist die eigentliche chemische Untersuchung, also die quantitative Bestimmung des Wassergehaltes der Luft. Ihrer Genauigkeit steht der Nachteil gegenüber, dass sie nur Mittelwerte für grössere Zeiträume liefert. Man saugt nämlich mehrere Stunden ununterbrochen Luft in abgemessenem Quantum durch ein Absorptionsmittel und bestimmt die Gewichtszunahme des letzteren. Als Absorptionsmittel für den Wasserdampf dient konzentrierte Schwefelsäure; um ein Verspritzen zu verhindern, verwendet man Bimsstein-

stückchen, die mit der Schwefelsäure getränkt werden. Diesen getränkten Bimsstein füllt man in ein kleines gläsernes Absorptionskölbchen¹⁾ und wägt dieses mit Inhalt. Dann saugt man mittels einer Wasserluftpumpe Luft durch das Absorptionskölbchen, wobei der Wasserdampf von dem Schwefelsäurebimsstein aufgenommen wird. Um die durchgesaugte Luftmenge zu messen, schaltet man zwischen Absorptionskölbchen und Saugpumpe eine Gasuhr ein. Nach beendeten Versuch wird das Absorptionskölbchen wieder gewogen; die Gewichtszunahme bezeichnet das Wasser, das in dem durchgeleiteten Luftquantum enthalten war.

Ein viel gebrauchtes Instrument ist das Koppesche Haarhygrometer, das ursprünglich von Saussure angegeben ist. Es ist aber wohl zu merken, dass man mit diesem Instrument, das

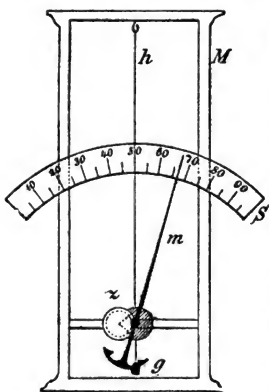


Fig. 16.

Fig. 16 schematisch wiedergibt, direkt nur die relative Feuchtigkeit der Luft bestimmen kann.

Ein durch Behandlung mit Sodalösung von Fett befreites blondes Frauenhaar *h* ist oben an einem Haken des Metallrahmens *M* befestigt. Unten läuft das Haar über eine kleine Rolle *z* und ist am Ende durch ein kleines Gewicht *g* soweit beschwert, dass es ziemlich straff gespannt bleibt. An der Rolle *z* sitzt der Zeiger *m*, der auf der Skala *S* die relative Feuchtigkeit in Prozenten angibt; die Skala muss durch Versuch für jedes Instrument ermittelt werden.

Haar hat die Eigenschaft, sich in feuchter Luft auszudehnen und in trockener zusammenzuziehen. Um das Instrument jederzeit wieder regulieren zu können, ist es in einen Kasten mit vorderer Glaswand einschiebbar. In diesen Kasten kann ein mit Wasser be-

1) Ein derartiges Absorptionskölbchen trägt einen aufgeschliffenen Glasstopfen, durch den zwei Glasröhren hindurchführen. Die eine endet dicht am Boden, die andere aber schon oben unmittelbar unter dem Stopfen im Kölbchen. Saugt man aussen an dem kurzen Glasrohr, so tritt Luft durch das lange Rohr nach und muss an dem unten liegenden Bimsstein vorbeistreichen.

feuchteter Musselinschieber eingesetzt werden. Man wartet einige Zeit, bis die Zeigerstellung sich nicht mehr ändert und stellt dann mittels des zum Hygrometer gehörigen Schlüssels das Instrument auf 100 ein. Es bedeutet dies 100 $\frac{0}{0}$ relativer Feuchtigkeit; der mit Wasser getränkte Musselinschieber bewirkt ja schnell eine vollständige Sättigung der Luft im Kästchen mit Wasserdampf. Soll nach dieser Voreinstellung zur eigentlichen Feuchtigkeitsbestimmung der Luft geschritten werden, so entfernt man natürlich das Kästchen und den Musselinschieber. Man muss das Instrument dann wenigstens $\frac{1}{2}$ Stunde ruhig in der zu untersuchenden Luft stehen haben, bevor man zur Ablesung schreiten kann; auch hütte man sich bei letzterer vor zu starker Annäherung an den Apparat, da das Haar sofort mit einem starken Zeigerausschlag reagiert, wenn es von dem Atem getroffen wird. —

Giebt auch das Haarhygrometer an sich nur die relative Feuchtigkeit der Luft an, so lässt sich doch leicht daraus auch die absolute Feuchtigkeit und das Sättigungsdefizit berechnen, wenn man gleichzeitig eine Thermometerablesung vornimmt.

Beispiel: relative Feuchtigkeit 70 $\frac{0}{0}$
Lufttemperatur 15,5 $^{\circ}$.

Das, was die Luft bei jeder Temperatur höchstens an Wasserdampf in sich aufnehmen kann, also das Sättigungsmaximum, ist schon in einer kurzen Übersicht auf Seite 12 angegeben; die ausführliche Tabelle darüber, wie sie für Psychrometerbestimmungen gebraucht wird, ist Seite 178 abgedruckt.

In dieser Tabelle findet man als Sättigungsmaximum für 15,5 $^{\circ}$ C. 13,15 g Wasserdampf auf 1 cbm Luft angegeben.

Von dieser Wassermenge enthält die Luft in dem angeführten Beispiel aber nur 70 $\frac{0}{0}$, d. h. $\frac{13,15 \times 70}{100} = 9,2$ g; die Luft enthält also 9,2 g Wasserdampf (absolute Feuchtigkeit) in 1 cbm.

Das Sättigungsdefizit ergibt sich als Differenz zwischen dem Sättigungsmaximum bei der herrschenden Temperatur und der absoluten Feuchtigkeit bei ebenderselben, d. h. 13,15—9,2 g = 3,95 g: Bis zur vollen Sättigung kann 1 cbm Luft — bei gleichbleibender Temperatur — noch 3,95 g Wasserdampf aufnehmen.

Wohl am häufigsten bedient man sich zur Bestimmung der Feuchtigkeit in der Luft des Augustschen Psychrometers, weil es sich leicht handhaben lässt und bei weitem kein so subtiles Instrument ist wie etwa die Haarhygrometer. Das Psychro-

meter findet sich in allen Wildschen Schutzgehäusen und ist dementsprechend auch in Fig. 9 (Seite 158) zu erkennen; zur grösseren Deutlichkeit ist es nochmals in beistehender Fig. 17 wiedergegeben.

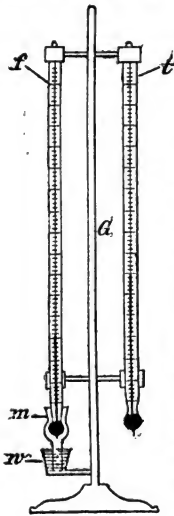


Fig. 17.

Es besteht aus zwei feinen, in $\frac{1}{10}^{\circ}$ getheilten Thermometern, die ganz genau gleich zeigen. Beide Thermometer sind neben einander an einem Gestell *G* befestigt. Die Kugel des Thermometers *f* ist mit Musselin *m* umwickelt; ein Teil des Musselins reicht nach unten in das Wassergefäss *w* hinein. So wird durch Kapillarität ständig Wasser emporgesaugt und die Kugel des Thermometers *f* feucht erhalten.

Ist die Luft nicht völlig mit Feuchtigkeit gesättigt, so wird von der feuchten Kugel Wasser verdampft. Hierdurch wird Wärme verbraucht ¹⁾, das feuchte Thermometer *f* wird also tiefer stehen als das trockne Thermometer *t*. Voraussetzung hierfür ist aber eben, dass Wasser von der feuchten Kugel verdunstet, dass also die Luft noch nicht mit Wasserdampf gesättigt ist.

Hat die Luft das Sättigungsmaximum erreicht, enthält sie also 100 % relative Feuchtigkeit, so verdunstet kein Wasser von der feuchten Kugel — beide Thermometer stehen gleich. Je trockner die Luft (im Verhältnis zu ihrer Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf bei der herrschenden Temperatur) ist, um so grösser

ist die Differenz zwischen den Angaben des trocknen und des feuchten Thermometers. Die Grösse der Differenz in beiden Thermometerangaben richtet sich also nach der Grösse des Sättigungsdefizits, und dieser Umstand macht es möglich, das Psychrometer zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit zu verwenden.

Bei mässigem Luftzug wird die an der feuchten Kugel *f* vorbeistreichende Luft sich mit Wasserdampf sättigen, gleichzeitig sich aber auch abkühlen, weil ein Teil ihrer Wärme zur Dampfbildung verbraucht wird. Als Resultat ergibt sich ein Zustand, bei dem ebenso viel Wärme durch die Luft zugeführt wird, als Wärme durch die Verdunstung verbraucht wird. Demnach zeigt das feuchte Thermometer *f* diejenige Temperatur an, bis zu der die Luft an der

1) Gewöhnlich sagt man: „es wird Verdunstungskälte erzeugt“.

feuchten Kugel erkaltet, und bei der sie gleichzeitig mit Wasserdampf gesättigt ist.

Die an das Psychrometer herankommende Luft hat eine Temperatur t , die durch das trockne Thermometer angezeigt wird, und einen Wassergehalt x , der bestimmt werden soll. Die Luft, die das feuchte Thermometer verlässt, ist mit Wasserdampf gesättigt, enthält also das Sättigungsmaximum M bei der Temperatur t . Dieses Sättigungsmaximum setzt sich zusammen aus dem schon vorher in der Luft vorhandenen (zu bestimmenden) Wasserdampfgehalt x und dem Wasser, das die Luft an der feuchten Kugel f aufnahm. Nennt man diesen aufgenommenen Wasserdampf y , so erhält man die Gleichung

$$M = x + y, \text{ also } x = M - y.$$

y ist nun aber nicht eine unbekannt Grösse, wie es scheint, sondern es hat sich ergeben, dass man diese Grösse findet, wenn man die Differenz beider Thermometer D (in Celsiusgraden) mit einem konstanten Faktor k multipliziert. Es ergibt sich also

$$x = M - D \cdot k$$

Dabei ist

x = absoluter Wasserdampfgehalt der Luft bei der Temperatur des trocknen Thermometers t .

M = Sättigungsmaximum bei der Temperatur des feuchten Thermometers f . Diese Grösse ist direkt aus der Tabelle auf Seite 178 abzulesen.

D = Differenz zwischen trockenem und feuchtem Thermometer (in Celsiusgraden).

k = Konstante, die zu 0,65 bestimmt worden ist; nur im Winter, wenn die Thermometerkugel mit Eis überzogen ist, hat man $k = 0,56$ zu setzen.

So lässt sich ohne Schwierigkeit die absolute Feuchtigkeit der Luft ermitteln, und nach dieser Ermittlung ist es sehr leicht, die relative Feuchtigkeit und das Sättigungsdefizit zu berechnen.

Das Sättigungsdefizit ergibt sich als Differenz zwischen dem Sättigungsmaximum bei der Temperatur des trocknen Thermometers t und der absoluten Feuchtigkeit bei derselben Temperatur.

Die relative Feuchtigkeit ergibt sich durch Division des Sättigungsmaximums bei t durch die absolute Feuchtigkeit bei derselben Temperatur.

Genau genommen ist die Konstante k etwas veränderlich, und zwar ändert sie sich mit der Luftbewegung und dem Barometerstand. Die dadurch hervorgerufenen Differenzen sind jedoch so gering, dass sie für gewöhnlich ausser Betracht bleiben können.

Neuerdings benutzt man vielfach sogenannte Aspirationspsychrometer. Es unterscheiden sich diese Instrumente von dem

Tabelle über den Wassergehalt der Luft bei verschiedenen Temperaturen
berechnet von H. Trillich 1).
in 1 cbm Luft g Wasserdampf

Temperatur der Luft	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
— 20	1,06									
15	1,57									
14	1,70	1,69	1,68	1,67	1,66	1,64	1,62	1,61	1,60	1,58
13	1,84	1,82	1,81	1,81	1,78	1,77	1,76	1,74	1,73	1,71
12	1,97	1,96	1,95	1,94	1,93	1,91	1,90	1,89	1,87	1,85
11	2,13	2,10	2,08	2,07	2,05	2,04	2,03	2,01	2,00	1,98
— 10	2,30	2,28	2,27	2,25	2,23	2,21	2,20	2,18	2,16	2,15
9	2,49	2,47	2,45	2,43	2,41	2,39	2,38	2,36	2,34	2,32
8	2,67	2,65	2,63	2,62	2,60	2,58	2,56	2,54	2,53	2,51
7	2,88	2,86	2,84	2,82	2,80	2,77	2,75	2,73	2,71	2,69
6	3,11	3,09	3,06	3,04	3,02	2,99	2,97	2,95	2,93	2,90
5	3,36	3,33	3,31	3,28	3,26	3,23	3,21	3,18	3,16	3,13
4	3,61	3,58	3,56	3,53	3,51	3,48	3,46	3,43	3,41	3,38
3	3,90	3,87	3,84	3,81	3,78	3,75	3,73	3,70	3,67	3,64
2	4,19	4,16	4,13	4,10	4,07	4,05	4,02	3,99	3,96	3,93
1	4,52	4,49	4,45	4,42	4,39	4,35	4,32	4,29	4,26	4,22
0 —	4,87	4,83	4,80	4,76	4,73	4,69	4,66	4,62	4,59	4,55
0 +	"	4,90	4,94	4,97	5,01	5,04	5,07	5,11	5,14	5,18
+ 1	5,21	5,25	5,28	5,32	5,35	5,39	5,43	5,46	5,50	5,53
2	5,57	5,61	5,65	5,69	5,73	5,76	5,80	5,84	5,88	5,92
3	5,96	6,00	6,04	6,08	6,12	6,16	6,21	6,25	6,29	6,33
4	6,37	6,41	6,45	6,50	6,54	6,58	6,62	6,66	6,71	6,75
5	6,79	6,84	6,88	6,93	6,98	7,02	7,07	7,11	7,16	7,21
6	7,26	7,31	7,35	7,40	7,45	7,49	7,54	7,59	7,64	7,68
7	7,73	7,78	7,83	7,89	7,94	7,99	8,04	8,09	8,15	8,20
8	8,25	8,30	8,36	8,41	8,47	8,52	8,57	8,63	8,68	8,73
9	8,79	8,85	8,91	8,96	9,02	9,07	9,13	9,19	9,24	9,30
10	9,37	9,43	9,49	9,55	9,61	9,67	9,74	9,80	9,86	9,92
+ 11	9,98	10,04	10,11	10,17	10,24	10,30	10,36	10,43	10,49	10,56
12	10,62	10,69	10,75	10,82	10,88	10,95	11,02	11,08	11,15	11,21
13	11,28	11,35	11,43	11,50	11,58	11,65	11,72	11,80	11,87	11,95
14	12,02	12,09	12,17	12,24	12,32	12,39	12,46	12,54	12,61	12,69
15	12,76	12,84	12,92	13,00	13,08	13,15	13,23	13,31	13,39	13,47
16	13,55	13,63	13,72	13,80	13,89	13,97	14,05	14,14	14,22	14,31
17	14,39	14,48	14,58	14,67	14,77	14,86	14,95	15,05	15,14	15,24
18	15,33	15,42	15,50	15,59	15,68	15,76	15,85	15,94	16,03	16,11
19	16,20	16,29	16,39	16,49	16,58	16,68	16,78	16,87	16,97	17,06
20	17,16	17,26	17,37	17,47	17,58	17,68	17,78	17,89	17,99	18,10

1) Entnommen aus Emmerich und Trillich l. c. Nur die Zeile 0+ wurde vom Verfasser berechnet, da die Angaben zwischen 0° und +1° merkwürdigerweise in genannter Quelle fehlen.

Temperatur der Luft	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
+ 21	18,20	18,31	18,41	18,52	18,63	18,73	18,84	18,95	19,06	19,17
22	19,29	19,41	19,52	19,64	19,75	19,87	19,99	20,10	20,22	20,33
23	20,45	20,56	20,68	20,79	20,91	21,02	21,14	21,25	21,37	21,48
24	21,60	21,73	21,85	21,98	22,11	22,23	22,36	22,49	22,62	22,74
25	22,87	23,00	23,13	23,27	23,40	23,53	23,66	23,79	23,93	24,06
26	24,19	24,33	24,47	24,61	24,75	24,88	25,02	25,16	25,30	25,44
27	25,58	25,72	25,86	26,01	26,15	26,29	26,43	26,57	26,72	26,86
28	27,00	27,15	27,31	27,46	27,61	27,76	27,92	28,07	28,22	28,38
29	28,58	28,69	28,85	29,01	29,17	29,33	29,50	29,66	29,82	29,98
30	30,14	30,31	30,47	30,64	30,81	30,97	31,14	31,31	31,48	31,64
+ 31	31,81	31,98	32,16	32,33	32,51	32,68	32,86	33,03	33,21	33,38
32	33,56	33,74	33,92	34,10	34,28	34,45	34,63	34,81	34,99	35,17
33	35,35	35,54	35,73	35,93	36,12	36,31	36,50	36,69	36,87	37,08
34	37,27	—	—	—	—	—	—	—	—	—

gewöhnlichen Augustschen Psychrometer nur dadurch, dass die Verdunstung an der feuchten Thermometerkugel durch einen künstlichen Luftzug befördert wird; selbstverständlich ist dabei, dass die Konstante k unter diesen Umständen geändert ist und daher je nach der Stärke des künstlichen Luftzuges u. s. w. stets erst ermittelt werden muss.

Auf demselben Prinzip wie die Aspirationspsychrometer beruhen die Schleuderpsychrometer, die wohl zuerst von Flüggé vorgeschlagen worden sind. Bei diesen wird die Verdunstung an der feuchten Kugel dadurch befördert, dass das Psychrometer in der Luft herumgeschleudert wird; hierin ähneln diese Instrumente also den Schleuderthermometern, von denen schon Seite 157 die Rede war. Das ¹⁾ Schleuderpsychrometer besteht aus zwei in $\frac{1}{5}^{\circ}$ C. getheilten, in Messingfassung befindlichen Thermometern. Die Kugel des einen ist mit Musselin bewickelt und wird in reines (destillirtes) Wasser getaucht. Darauf schleudert man beide Thermometer mittels einer Schnur etwa $1\frac{1}{2}$ Minute lang in einer Vertikalebene ungefähr 150mal im Kreise herum. Dann wird die Ablesung vorgenommen; die Berechnung erfolgt nach eigens für diese Instrumente aufgestellten Tabellen.

Ausser dem Koppeschen Haarhygrometer und dem Psychrometer benutzen manche Beobachter zur Bestimmung der Feuchtigkeit noch andere Instrumente, von denen das Döbereinersche und

1) Zeitschrift für Hygiene. Jahrg. 1886. Bd. I.

Daniellsche Kondensationshygrometer wenigstens genannt seien. Hinzugefügt sei, dass Richard frères in Paris auch ein selbstregistrierendes Hygrometer in den Handel bringen; Erfahrungen über dessen Zuverlässigkeit besitzt Verfasser nicht. Man hat auch empirische Hygroskope für Laien konstruiert, die die Änderungen der Luftfeuchtigkeit in irgend einer Weise erkennen lassen. Diese Instrumente, die übrigens für wissenschaftliche Beobachtungen nicht in Frage kommen, beruhen zumeist auf der Erscheinung, dass sich gewisse Körper, wie Darmsaiten, Stroh, Pflanzenhaare (Storchschnabel), bei Zunahme des Wassergehaltes der Luft ausdehnen, bei Abnahme der Feuchtigkeit zusammenziehen. Einige Hygroskope beruhen auch auf der Farbenveränderung von Metallsalzen bei Änderung des Wasserdampfgehaltes der Luft; so wird beispielsweise Kobaltchlorid in trockner Luft blau, während seine Farbe mit zunehmender Luftfeuchtigkeit allmählich durch violett in rot übergeht.

Das Sättigungsdefizit der Luft hat man auch in der Weise zu bestimmen versucht, dass man die Grösse der Wassermenge feststellt, die einem gegebenen Quantum Flüssigkeit — oder richtiger gesagt, einer gegebenen Flüssigkeitsoberfläche — auf dem Wege der Verdunstung in einer gegebenen Zeit entzogen wird. Apparate, in denen man diese Bestimmung vornimmt, nennt man Verdunstungsmesser, Atmometer oder Evaporimeter.

Während die einfachen Verdunstungsmesser sehr viele Fehlerquellen besaßen, dabei sehr umständlich zu handhaben waren und das Vorhandensein einer teuren, analytischen Wage voraussetzten, sind diese Übelstände durch die neuen, vervollkommenen Atmometer ziemlich beseitigt. Weite Verbreitung scheint davon das Pichesche Evaporimeter gefunden zu haben.

Dieses Instrument besteht aus einer langen, schmalen, am einen Ende geschlossenen Glasröhre, die in $\frac{1}{10}$ ccm eingeteilt ist. Sie wird nahe bis zum freien Rand mit destilliertem Wasser gefüllt; auf den Rand wird ein kreisförmiges Scheibchen aus ungeleimtem, porösem Papier gelegt, das in der Mitte eine ganz kleine Öffnung hat und durch eine Feder an die Röhre angedrückt wird. So vorbereitet wird das Instrument umgekehrt und mittels einer am geschlossenen Rohrende befindlichen Öse aufgehängt. Das Papierscheibchen saugt sich mit Wasser voll, und während dieses verdunstet, tritt immer neues Wasser aus der Röhre nach. Man bestimmt also die Verdunstungsgrösse direkt durch Ablesen des Wasserniveaus an der kalibrierten Röhre vor und nach dem Versuch. Die Leistungen dieses Instrumentes erscheinen recht befriedigend; nur hat mit Recht

Riegler hervorgehoben, dass eine freie Wasserfläche ganz anders und zwar schwächer verdampft als ein vollgesaugtes Fließpapierstück. Handelt es sich also nicht um vergleichende, sondern um absolute Messungen, so ist für das Instrument noch ein Korrektionsfaktor nötig. Nach Riegler sind sämtliche Ablesungen am Picheschen Evaporimeter mit $\frac{53}{90}$ zu multiplizieren; dieser Faktor ändert sich übrigens bei kalter Temperatur. Im Winter ist leider das Pichesche Instrument garnicht verwendbar, weil das Wasser gefriert.

Das neueste und beste Atmometer scheint das Ebermayer'sche Evaporimeter zu sein, das allen Ansprüchen auf Einfachheit der Handhabung, Haltbarkeit und Genauigkeit gerecht wird; spezielle Angaben über das Instrument können noch nicht gemacht werden.

4. Niederschläge.

Zur Messung der auf die Erde niederfallenden atmosphärischen Niederschläge bedient man sich der Regenmesser oder Ombrometer; von einem solchen giebt Fig. 18 eine schematische Ansicht.

Zum Auffangen des Regens dient ein cylindrisches Blechgefäß *a*, dessen kreisrunde Auffangfläche $500 \text{ qcm} = \frac{1}{20} \text{ qm}$ beträgt. In Wirklichkeit ist das Gefäß etwas grösser, aber es ist (um ein Zurückschlagen des Regens zu verhindern) oben etwas konisch verjüngt, sodass also die wahre Auffangfläche nur dem punktierten Kreise *b* der Fig. 18 entspricht. Unten läuft das Gefäß *a* in einen Trichter aus, von wo aus der eingefallene Regen durch das Röhrchen *c* in eine Blechflasche *f* fließt; diese ist durch Bajonettverschluss am Auffanggefäß befestigt und verhindert eine Wiederverdunstung des Regens. Zur Beobachtungszeit nimmt man die Flasche *f* ab und giesst den Inhalt in den Messcylinder *c*; die gemessene Regenmenge wird auf Millimeter Regenhöhe umgerechnet. Sind z. B. in zwölf Stunden 107 ccm Regen gefallen, so muss man, da die Auffangfläche 500 qcm beträgt, 107 durch 500 dividieren; man erhält

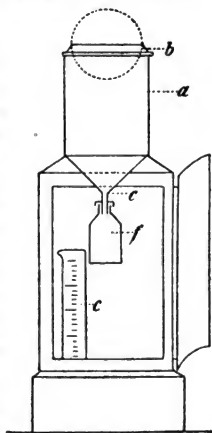


Fig. 18.

0,214 cm = 2,14 mm Regenhöhe. Übrigens geben die den Ombrometern beigegebenen Messcylinder gewöhnlich die Regenhöhe direkt in Millimetern an.

Ist Schnee im Ombrometer aufgefangen worden, so bringt man das Instrument zur Beobachtungszeit in ein warmes Zimmer und lässt den Schnee schmelzen; hierauf misst man das Schneewasser wie Regen, muss jedoch dabei die Temperatur berücksichtigen.

Um die Beobachtungen des Ombrometers zuverlässig zu machen, müssen mancherlei Umstände genau beachtet werden.

Die Aufstellung muss so erfolgen, dass Regen, der vom Boden oder von hohen Gegenständen abprallt und zurückgeschleudert wird, nicht mit in das Instrument gelangen kann. Auch dürfen keine Gebäude, hohe Zäune u. s. w. in der Nähe vorhanden sein, die bei Wind einen Teil der schräg fallenden Niederschläge abhalten könnten. Die Auffangfläche des Ombrometers soll mindestens 1,4 m vom Boden entfernt sein; auf Dächern darf die Aufstellung nicht erfolgen.

Um Schneemessungen korrekt durchzuführen, müssen mindestens zwei Ombrometer vorhanden sein, aus denen ein Beobachtungsmittel berechnet wird; die beiden Ombrometer sollen für diesen Zweck wenigstens 1,4 m von einander entfernt sein.

Gewöhnlich werden die Niederschlagsmengen für 24 Stunden angegeben; als Beobachtungszeit gilt dann 8 Uhr morgens. Nicht selten giebt man die innerhalb 12 Stunden gefallene Regenmenge in Millimetern an; dann wird um 8 Uhr morgens und um 8 Uhr abends die Niederschlagsmenge gemessen. Die in den Wetterkarten gebräuchlichen Zeichen für Regen und Regenmenge sind auf Seite 147 angeführt.

Nur kurz sei schliesslich erwähnt, dass man auch selbstregistrierende Ombrometer konstruiert hat; die durch sie erhaltenen Resultate sind leider noch nicht besonders zufriedenstellend.

5. Luftbewegung und Windrichtung.

Vor allem sei bemerkt, dass eine Luftbewegung, deren Geschwindigkeit weniger als 0,2 m pro Sekunde beträgt, durch unser Gefühl nicht wahrgenommen, also als „Windstille“ verzeichnet wird. Auch sonstige Mittel, die man allgemein zur Erkennung der Luftbewegung anwendet, wie aufsteigender Rauch, kleine Luftballons u. s. w. versagen derartigen geringen Windgeschwindigkeiten gegenüber; Rauch und Ballons steigen senkrecht in die Höhe, Wimpel hängen schlaff herab.

Über die ungefähre Schätzung der Windgeschwindigkeit vergleiche man Beauforts Windskala (Seite 95), halbe Beaufortskala (Seite 96) und die 10gradige Windskala nach J. Hann (Seite 97).

Zur genaueren Bestimmung der Windstärke oder, wie man auch sagen kann, des Winddruckes benutzte man, und benutzt man für einfache Messungen noch heute, die Drehung einer aufgehängten Platte. So konstruierten Poleni und Pickering einen Windstärkemesser, bei dem eine rechteckige Platte an einem leicht beweglich aufgehängten Stabe befestigt ist. Bei Windstille hängt die Platte, die unten einen Zeiger trägt, natürlich vertikal; der einsetzende Wind hebt das untere Plattenende um so höher, je grösser die Windstärke ist. Die Zeigerbewegung wird an einer Skala abgelesen ¹⁾.

Diese Methode ist erst neuerdings von Wild wieder in Vorschlag gebracht worden. Der Wildsche Apparat, der in Fig. 19 (Seite 184) wiedergegeben ist, trägt oben die Tafel zur Bestimmung des Winddruckes; die Graduierung der Bogenskala muss empirisch vorgenommen werden. Die unter dem Windstärkemesser am Wildschen Apparat sichtbare Windfahne findet S. 185 Besprechung.

Für genaue Bestimmungen reicht die vorbeschriebene Methode nicht aus. In solchen Fällen bedient man sich zur Messung der Luftgeschwindigkeit im Freien der Anemometer (Windgeschwindigkeitsmesser), von denen wieder für den vorliegenden Zweck das Robinsonsche Schalenkreuzanemometer am empfehlenswertesten ist und am meisten gebraucht wird; dasselbe ist in Fig. 20 (Seite 184) dargestellt:

An den Enden zweier sich rechtwinklig kreuzender Stangen sind 4 halbkugelförmige Schalen von dünnem Blech $S_1 S_2 S_3 S_4$ fest angebracht, und zwar derart, dass die Höhlung (Konkavität) der einen stets der Wölbung (Konvexität) der anderen zugekehrt ist. Dieses Schalenkreuz sitzt auf der vertikalen Achse a , die sich mit dem Kreuz zusammen dreht. Der untere Teil von a greift durch eine Schraube ohne Ende in ein Zählwerk z ein, an dem die Ablesungen vorgenommen werden. Gleichgültig von welcher Richtung der Wind kommt, immer trifft er eine Schalenhöhlung, und da er auf diese stärker wird als auf die Schalenwölbungen, so erfolgt ohne Rücksicht auf die Windrichtung eine Umdrehung nach einer und derselben Richtung.

Um aus den Angaben des Robinsonschen Anemometers auf

1) Die Windstärke ist nicht dem Hebungswinkel der Platte proportional, sondern sie ändert sich im Verhältnis des Sinus dieses Winkels.

die Windgeschwindigkeit schliessen zu können, bedarf man noch zweier Koeffizienten, die für jedes Instrument besonders ermittelt werden müssen. Diese Koeffizienten sind 1. die geringste Geschwin-

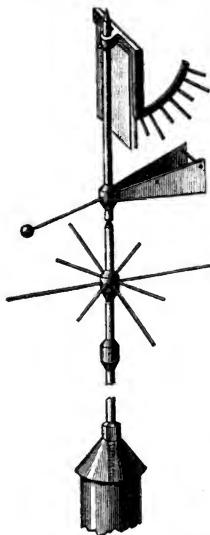


Fig. 19.

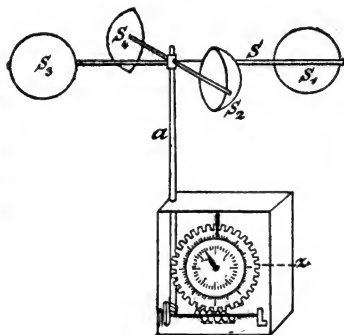


Fig. 20.

digkeit, bei der das Instrument in Gang kommt (c) und 2. eine Konstante, die das Verhältnis zwischen dem zurückgelegten Weg des Windes und dem des Schalenkreuzes ausdrückt (s); diese Konstante berücksichtigt also auch den Reibungskoeffizienten des Instrumentes. Dann ist der Windweg $W = u \cdot s + c$, wo u die Zahl der Umdrehungen des Schalenkreuzes bedeutet. Wird der so berechnete Windweg durch die Zeitdauer der Beobachtung dividiert, so erhält man die Windgeschwindigkeit für die Zeiteinheit (Sekunde). Die Ablesungen werden gewöhnlich alle 24 Stunden einmal, und zwar morgens 8 Uhr vorgenommen. Zu beachten ist, dass das Anemometer von allen Seiten dem Winde frei ausgesetzt sein muss, am besten wird es also auf freien Plätzen oder auf Dächern aufgestellt.

Man hat auch verschiedene selbstregistrierende Anemometer konstruiert, von denen die feinsten, aber auch die teuersten die von Sprung-Fuess sind. Es würde an dieser Stelle zu weit führen, auf diese subtilen Instrumente näher einzugehen. —

Gewöhnlich wird kein Unterschied zwischen Windgeschwin-

digkeit und Winddruck (Windstärke) gemacht; man nimmt an, dass ein Instrument, das den einen dieser Faktoren richtig bestimmt, auch zur Messung des andern geeignet ist. Neuere Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass man zwischen Windgeschwindigkeit und Windstärke wohl zu unterscheiden hat. Gewiss ist es richtig, dass die Windstärke mit der Windgeschwindigkeit zunimmt, aber sie nimmt nicht im gleichen Masse wie die Geschwindigkeit zu, sondern im quadratischen Verhältnis zu derselben. Die Beaufortschen Angaben sind dementsprechend an sich nur zur Messung der Stärke, nicht zu derjenigen der Geschwindigkeit des Windes verwendbar; die wahren Windgeschwindigkeiten, die aus den in den Tabellen (Seite 95, 96, 97) mit enthaltenden Zahlen ersichtlich sind, wurden erst neuerdings durch Untersuchungen von Koeppe n ermittelt.

Von noch grösserer Wichtigkeit als die Bestimmung der Windstärke ist, zumal für meteorologische Zwecke, die Ermittlung der Windrichtung.

Zur Bestimmung der Windrichtung dienen Wimpel oder Windfahnen. Die beste Konstruktion der Windfahnen ist aus der Abbildung der Wildschen Windstärketafel Fig. 19 (Seite 184) mit zu ersehen. Bei dieser sind zwei senkrecht stehende Metallblätter unter einem spitzen Winkel zu einander an einer Achse befestigt; die Windrichtung wird dann durch eine Eisenstange angezeigt, die den Winkel der beiden Metallblätter halbiert. In der Fig. 19 kommt also der Wind von links, aus der Richtung, wohin die Kugel der Eisenstange zeigt; diese Kugel giebt mithin die Windrichtung an. Die Art, wie man die Windrichtung bezeichnet, und die internationalen Abkürzungen der Windrose sind auf Seite 94/95 wiedergegeben.

Gewöhnlich verlängert man für Beobachtungszwecke die Achse der auf dem Dache stehenden Windfahne nach unten bis in das Beobachtungszimmer und lässt hier die Windrichtung durch einen vertikalen Zeiger auf einer Windrose markieren. Natürlich ist in diesem Fall die Vertikalachse mit der Windfahne und dem Zeiger fest verbunden und bewegt sich in entsprechenden Haltern. Diese einfache Anordnung hat unter starken Reibungswiderständen zu leiden, und dies ist die Ursache, dass fast alle meteorologischen Stationen eine von R. Fuess angegebene, vervollkommnete Windfahne benutzen, bei der die Reibung durch einen „Ölpuffer“ fast vollständig aufgehoben ist.

Es sei hinzugefügt, dass in den selbstregistrierenden Windstärkemessern, so dem Assmannschen und dem Fuessschen Anemographen, die Windrichtung gleichzeitig mit aufgezeichnet wird.

B. Chemische Untersuchung.

Vorweg sei nochmals bemerkt, dass die Beherrschung der allgemeinen chemischen Untersuchungsmethoden hier vorausgesetzt werden muss. Eine Behandlung der Fundamentalmethoden der chemischen Analyse würde vorliegende Monographie in unerwünschter Weise vergrössern und ihre Bestimmung gänzlich verschieben.

Nur die für die Praxis wichtigen Methoden der Luftanalyse sind erläutert, Bestimmungen von rein wissenschaftlichem Interesse aber übergangen worden; man wird deshalb beispielsweise die Bestimmung des Sauerstoffes ebenso vergeblich suchen wie die des Argons u. s. w.

Fast alle Methoden sind nach eigenen Erfahrungen des Verfassers in der einfachsten Form so angeführt, dass sie auch von solchen Lesern dieses Werkes, die nicht Chemiker sind, ohne grössere Schwierigkeit ausgeführt werden können. Hierin liegt natürlich anderseits auch die Entschuldigung des Verfassers dafür, dass er manches in diesem und andern Kapiteln ausführlicher dargestellt hat, als es dem Spezialfachmann gegenüber nötig gewesen wäre.

1. Kohlendioxyd.

Als Mittel zur Bestimmung des Kohlendioxydes der Luft dient gewöhnlich das Bariumhydrat $Ba(OH)_2$, oder vielmehr eine wässrige Lösung von Bariumhydrat, wie sie unter dem Namen Barytwasser bekannt ist.

Kommt kohlendioxydhaltige Luft mit Barytwasser in innige Berührung, so fällt je nach der grösseren oder geringeren Menge des vorhandenen Kohlendioxydes (CO_2) ein grösserer oder kleinerer Teil des gelösten Barythydrates $Ba(OH)_2$ als unlösliches Bariumkarbonat $BaCO_3$ aus. Es ist also die in Lösung bleibende Barytmenge um so geringer, je reicher die Luft an Kohlendioxyd ist. Nach dem Versuch ist das Barytwasser durch das ausgeschiedene weisse Bariumkarbonat getrübt; lässt man dieses sich absetzen, so bleibt nur übrig, in dem überstehenden klaren Barytwasser die Barytmenge zu bestimmen. Hat man eine gleiche Bestimmung vor dem Versuch mit einer

Probe des zu verwendenden Barytwassers vorgenommen, so gestattet die Differenz im Barytgehalt vor und nach der Einwirkung des Kohlendioxydes einen Rückschluss auf die Menge des letzteren. Zu der in Rede stehenden Barytbestimmung bedient man sich gewöhnlich einer Lösung von Oxalsäure, mit der das Barytwasser titriert wird.

Es ist selbstverständlich möglich, die angedeutete Kohlendioxydbestimmung mit Lösungen verschiedener Stärke auszuführen, wenn man nur ihren Gehalt und ihr gegenseitiges Reaktionsverhältnis kennt, aber es sprechen doch viele Zweckmässigkeitsgründe dafür, dass man sich Lösungen von bestimmter Konzentration bedient. Gewöhnlich wird die Oxalsäurelösung so bereitet, dass 1 ccm davon 0,25 ccm Kohlendioxyd (bei 0° und 760 mm Druck) entspricht.

Um diese Konzentration zu erreichen, löst man 1,405 g reiner kristallisierter Oxalsäure in 1 l destillierten Wassers¹⁾. Diese Oxalsäurelösung ist in dunklen (schwarzen oder braunen) Flaschen, vor Licht geschützt, aufzubewahren, weil sie sich sonst schnell zersetzt. Bei der Bereitung der Lösung ist übrigens darauf zu achten, dass das verwendete Wasser (bei der Auffüllung bis zur Marke des Messkolbens) genau 15° C. hat. —

Die weiter nötige Barytlösung wählt man von solcher Stärke, dass 10 ccm davon möglichst genau 10 ccm der Oxalsäurelösung entsprechen.

Um dies zu erreichen, löst man 3,5 g reinsten Bariumhydrates in 1 l destillierten Wassers (bei 15°) und setzt ungefähr 2 g Bariumchlorid zu²⁾. Dasso bereitete Barytwasser muss bei der Aufbewahrung gegen die Einwirkung des Kohlendioxydes geschützt sein, weil es sich eben sonst unter Ausscheidung von Bariumkarbonat trübt. Deswegen bewahrt man es in einer Flasche, wie sie durch Fig. 21 wiedergegeben ist. Dieselbe ist durch einen doppelt durchbohrten Kautschukstopfen verschlossen; durch die eine Bohrung geht das lange gebogene Glasrohr *b* innen

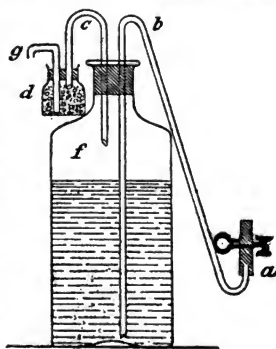


Fig. 21.

1) Die Berechnung der chemischen Äquivalenzen muss hier als bekannt vorausgesetzt werden, ebenso die Ausführung von Titrationen.

2) Dieser Zusatz ist nötig, weil das Bariumhydrat meistens nicht ganz alkalifrei ist.

bis fast zum Boden, während es aussen bei *a* wieder nach oben gebogen, mit einem Gummischlauch versehen und mit einem Quetschhahn verschlossen ist. Die andere Bohrung trägt das kurze, gebogene Glasrohr *c*, das in dem Absorptionskölbchen *d* endet; dieses enthält mit Kalilauge getränkten Bimsstein, welcher der durch das offene Glasrohr *g* eintretenden Luft das Kohlendioxyd entzieht und ihr erst dann den Eintritt in die Flasche *f* gestattet.

Um aus dieser Flasche Barytwasser zu entnehmen, steckt man die untere Spitze einer Pipette in das Schlauchstück des Rohres *b*, saugt unter Öffnen des Quetschhahnes die Pipette bis über den Teilstrich voll ¹⁾ und schliesst den Quetschhahn wieder. Dann wird die mit dem Zeigefinger verschlossene Pipette abgehoben, worauf man bis zur Marke abtropfen lässt.

Zur Orientierung über den Barytgehalt des so bereiteten Barytwassers — das übrigens erst verwendet werden darf, wenn es sich vollständig abgesetzt hat, also ganz klar geworden ist — werden auf die beschriebene Weise 25 ccm davon mittels einer Pipette entnommen und in ein geräumiges Glaskölbchen gegeben. Nun setzt man als Indikator einige Tropfen Phenolphthaleinlösung ²⁾ zu und titriert mit der Oxalsäurelösung, bis die durch das Phenolphthalein schön violett gefärbte Lösung eben farblos geworden ist. Durch diese Titration kennt man den Wirkungswert des Barytwassers gegenüber der Oxalsäurelösung und dadurch auch gegenüber dem Kohlendioxyd, weil 1 ccm Oxalsäurelösung = 0,25 ccm Kohlendioxyd ist.

Das im vorstehendem angedeutete Prinzip der Bestimmung des Kohlendioxydes in der Luft kann auf sehr mannigfache Weise in die Praxis übertragen werden; es seien die beiden wichtigsten Methoden hier erläutert.

Erste Methode.

Man saugt die Luft durch eine lange, etwas geneigte Glasröhre von besonderer Form ³⁾, wie sie in Fig. 22 (Seite 189) abgebildet

1) Man muss sich dabei hüten, dass Ausatemluft in die Pipette gelangt, weil diese sehr reich an Kohlendioxyd ist und das Barytwasser sogleich trüben würde.

2) Man verwendet eine alkoholische Lösung von Phenolphthalein in der Konzentration 1:30, die man am besten in einem Tropffläschchen aufbewahrt.

3) Diese Röhre zählt mit zu den in vorliegendem Abschnitt oft erwähnten Absorptionsvorrichtungen (Absorptionsröhren und Absorptionskolben). Dieselben haben sehr verschiedene Konstruktion, bei allen aber bezweckt die Anordnung, das durchgesaugte oder durchgetriebene Gas in recht innige und anhaltende Berührung mit der Absorptionsflüssigkeit zu bringen.

ist und den Namen Pettenkofer'sche Röhre führt. Vor dem Versuch wird die Röhre mit 100 ccm Barytwasser gefüllt; auch die beiden kleinen Fläschchen, die zwischen Röhre und den zum Ansaugen dienenden Aspirator¹⁾ eingeschaltet sind, enthalten Barytwasser. Diese Fläschchen dienen nur zur Kontrolle dafür, dass das Barytwasser der Röhre sämtliches Kohlendioxyd der Luft absorbiert; der Inhalt beider Fläschchen muss klar bleiben.

Wird der Aspirator²⁾ in Thätigkeit gesetzt, so strömt die Luft aus der nach oben gebogenen Spitze des Zuleitungsrohres in die Pettenkofer'sche Röhre hinein und steigt in kleinen, perlchnurartig auf einander folgenden Blasen in dem wenig geneigten Schenkel langsam in die

1) Als Aspirator benutzt man gewöhnlich eine grosse (5—10 l fassende) Glasflasche, die mit einem doppelt durchbohrten Kautschukstopfen fest verschlossen ist. Die eine Bohrung trägt ein Glasrohr, das nach innen bis fast zum Boden des Gefässes reicht und aussen in einen noch längeren Schenkel nach unten gebogen ist; dieses küssere Ende ist durch ein Schlauchstück und Schraubenquetschhahn verschlossen.

Die andere Bohrung des Kautschukstopfens trägt ein ganz kurzes Glasrohr, mit dem die Absorptionsgefässe durch einen Gummischlauch verbunden werden. Ist im langen Schenkel einmal das Wasser angesaugt, so wirkt dieser als Heber; man hat es durch den Schraubenquetschhahn in der Hand, mehr oder weniger schnell Luft durchzusaugen. Die aspirierte Luftquantität ermittelt man durch Wägung (oder Messung) des ausgeflossenen Wassers.

2) Der Aspirator ist in der Figur nicht mit wiedergegeben; man hat ihn links von beiden Fläschchen zu denken.

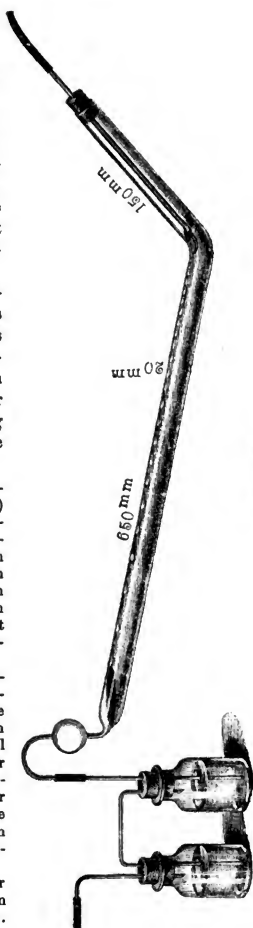


Fig. 22.

Höhe, wobei das Kohlendioxyd der Luft mit dem Barytwasser in Reaktion tritt.

Nach Beendigung des Versuches füllt man den Inhalt der Pettenkoferschen Röhre mittels eines kleinen Trichters in ein Glasfläschchen über, das davon ganz gefüllt werden muss und mit einem Glasstopfen verschlossen wird. Es ist keineswegs nötig, dass der ganze Inhalt der Röhre in das Fläschchen hineingeht (Nachspülen der Röhre mit Wasser ist nicht zulässig!), weil nur ein aliquoter Teil bei der Titration zur Verwendung gelangt.

Die dem Versuch entstammende getrübe Barytlösung bleibt solange in dem verschlossenen Fläschchen, bis sie sich vollständig geklärt hat. Dann entnimmt man 25 ccm davon mittels einer Pipette (ohne den Niederschlag aufzurühren) und titriert nach Zusatz von Phenolphthaleïn mit der Oxalsäurelösung. Da man vor jedem Versuch den Titer der Barytlösung feststellt¹⁾, so ergibt die Differenz im Verbrauch der Oxalsäurelösung beider Titrations direkt die Menge an Kohlendioxyd. Jedoch ist zu beachten, dass hier nicht jedes Kubikcentimeter Oxalsäurelösung gleich 0,25 mg Kohlendioxyd ist, sondern einem ganzen Milligramm Kohlendioxyd entspricht, weil man zur Titration ja nur 25 ccm der Barytlösung verwendet, während die ganze Füllung der Pettenkoferschen Röhre 100 ccm betrug. Die ermittelte Kohlendioxydmenge ist dann auf diejenige Luftquantität umzurechnen, die am Aspirator als durchgesaugt abgemessen wird. Dabei ist es jedoch nötig, dieses Luftvolumen auf 0° und 760 mm Druck zu reduzieren, weil das Verhältnis zwischen Oxalsäuremenge und Kohlendioxydmenge (1 ccm = 0,25 ccm CO₂) ebenfalls unter diesen Verhältnissen festgestellt ist. Diese Umrechnung geschieht nach der Formel

$$V = \frac{v \cdot b}{760 (1 + 0,00366 t)},$$

worin V das gesuchte (reduzierte) Luftvolumen, v das gemessene Luftvolumen, b der beim Versuch herrschende Barometerstand und t die Temperatur ist.

Zweite Methode.

Am häufigsten bedient man sich der sogen. Pettenkoferschen Methode²⁾ zur Bestimmung des Kohlendioxydgehaltes der Luft, bei

1) Trotz der besonderen Anordnung der Aufbewahrungsflasche ändert sich allmählich der Titer der Barytlösung; er muss daher von Zeit zu Zeit neu bestimmt werden.

2) Abhandlungen der naturwissenschaftl. u. techn. Kommission d. k. bayr. Akad. d. Wissensch. II. 1.

der ebenfalls Barytwasser mit der Luft in innige Berührung gebracht und nachher mit Oxalsäure titriert wird.

Zur Ausführung dieser Methode bedarf man einer geeichten Flasche von etwa 5 l Inhalt. Man kann sich die Flasche selbst aichen, indem man sie zuerst im reinen, leeren und trocknen Zustande wägt, danach bis zum Überlaufen mit destilliertem Wasser von 15° C. füllt und wieder wägt. Die Differenz zwischen beiden Wägungen ergibt den Inhalt der Flasche in Kubikcentimetern; als Verschluss dient eine gut schliessende Kautschukkappe, die über den Hals gezogen wird.

Um die Bestimmung vorzunehmen, bringt man die reine, trockne Flasche an den Ort der Untersuchung, nimmt die Kautschukkappe ab und bläst die Luft mittels eines Blasebalgs, an dessen Mundstück ein Schlauch angebracht ist, in die Flasche. Um sicher zu sein, dass der frühere Inhalt der Flasche vollständig durch die Untersuchungsluft ersetzt ist, muss man etwa 3mal soviel Luft durchblasen, als dem Flascheninhalt entspricht. Mit einem Blasebalg, der mit jedem Hub 100 ccm Luft ansaugt, hätte man also etwa 150 Stösse nötig.

Unmittelbar nach dem Versuch wird die Flasche mittels der Kautschukkappe wieder verschlossen, dann wird Temperatur und Barometerstand abgelesen; dabei muss sich das Thermometer schon mindestens $\frac{1}{4}$ Stunde an der Stelle der Luftentnahme befunden haben.

Die eigentliche Untersuchung der in der Flasche eingeschlossenen Luft kann an beliebiger Stelle und noch nach einiger Zeit erfolgen, falls die Kappe fest schliesst.

Zur Bestimmung saugt man mit einer Vollpipette aus der in Fig. 21 (Seite 187) abgebildeten Vorratsflasche 100 ccm des vorrätigen Barytwassers auf und lässt sie unter Lüftung der Kautschukkappe in die mit Luft gefüllte Flasche fliessen ¹⁾, worauf die Kautschukkappe sofort wieder übergezogen wird.

Das Barytwasser muss 15 Minuten in der Flasche verbleiben; die Absorption des Kohlendioxydes wird dadurch befördert, dass man die Flasche während dieser Zeit öfter sanft hin- und herschüttelt und so das Barytwasser mit der Luft in der Flasche in innige Berührung bringt.

Nach der Viertelstunde verfährt man genau ebenso, wie auf voriger Seite bei Beschreibung der ersten Bestimmungsmethode an-

1) Um den letzten Tropfen aus der Pipette in die Flasche zu bringen, darf man keinesfalls in die Pipette hineinblasen; man schliesst vielmehr mit dem Zeigefinger der linken Hand ihre obere Öffnung und umfasst den Bauch der Pipette mit der rechten Hand: Durch die Erwärmung wird der Flüssigkeitsrest aus der Pipette hinausgetrieben.

gegeben ist. Man füllt also das getrübbte Barytwasser aus der Versuchsflasche in ein kleines Glasfläschchen über, worin es sich durch mehrstündiges Stehen (verschlossen!) klärt. Filtrieren ist unstatthaft, weil dabei das Kohlendioxyd der Luft erhebliche Bariumhydratmengen in Karbonat verwandeln würde. Auch hier kommt es nicht darauf an, dass das Barytwasser vollständig in die kleine Flasche gelangt.

Von dem geklärten Barytwasser werden 25 ccm mit einer Pipette abgefüllt, mit Phenolphthaleïn versetzt und mit Oxalsäure titriert.

Die Berechnung ist genau dieselbe wie bei der ersten Methode: Die Differenz im Oxalsäureverbrauch der Barytlösung vor und nach dem Versuch in Kubikcentimetern ergibt direkt die Kubikcentimeter Kohlendioxyd. Diese CO_2 -Menge bezieht sich auf ein Luftvolumen gleich dem Inhalt der geachteten Flasche. Man darf jedoch nicht vergessen, von diesem Inhalt 100 ccm abzu ziehen, denn soviel Luft wurde ja durch die eingefüllten 100 ccm Barytwasserverdrängt. Das hiernach verbleibende Luftvolumen ist dann auf 0° und 760 mm Druck umzurechnen.

Hierbei ist zuerst nötig, den herrschenden Barometerstand selbst auf 0° zu reduzieren, was nach den Angaben auf Seite 167 geschieht. Ist dies erfolgt, so erhält man das reduzierte Luftvolumen nach der schon erwähnten Formel: Wenn b der reduzierte Barometerstand, t die Temperatur und v das Volumen der geachteten Flasche in Kubikcentimetern ist, so ergibt sich das reduzierte Luftvolumen

$$V = \frac{(v - 100) \cdot b}{760 (1 + 0,00366 \cdot t)}$$

Schliesslich wird das umgerechnete Luftvolumen zu den ermittelten Kubikcentimetern CO_2 in Beziehung gebracht, indem man den CO_2 -Gehalt pro mille angibt.

Nach Letts und Blake¹⁾ entsteht bei der Pettenkoferschen Kohlendioxydbestimmung ein nicht unerheblicher Fehler dadurch, dass das Bariumhydrat die Glaswandungen der Gefässe angreift und dabei schwächer wird; hierdurch wird ein höherer Kohlendioxyd der Untersuchungsluft vorgetäuscht. Um diesen Fehler zu umgehen, schlagen die genannten Forscher vor, das Sammelgefäss und die Flasche, die die Bariumlösung enthält, innen mit Paraffin zu bekleiden. Zweckmässig wird hierzu das feste Paraffin in Benzol gelöst und die konzentrierte dickliche Lösung auf den inneren Glaswandungen verteilt; die Verdunstung des Lösungsmittels kann man durch einen Luftstrom beschleunigen.

1) Chem. News 74, 287.

Ausser den beschriebenen ist noch eine grosse Anzahl anderer Methoden zur Bestimmung des Kohlendioxydes angegeben worden. Am genauesten sind diejenigen, welche das ausgeschiedene Bariumkarbonat (in andern Fällen Calciumkarbonat) gewichtsanalytisch bestimmen; am ungenauesten sind die Methoden, die dem Laien dienen sollen, wie die Blochmannsche, die Smith und Lungesche Methode, der Schaffersche Apparat, der Wolpertsche Luftprüfer u. s. w.

2. Kohlenoxyd.

Das Kohlenoxyd (CO) ist in der Luft nicht besonders schwer nachzuweisen, aber es ist um so schwerer quantitativ zu bestimmen, und zwar aus dem Grunde, weil das Kohlenoxyd in der Luft fast immer ausserordentlich verdünnt ist.

Zum Nachweis von Kohlenoxyd benutzt man einerseits Palladiumchlorür, das durch Kohlenoxyd geschwärzt wird, und andererseits Blut, das das Kohlenoxyd gierig absorbiert und dadurch in besonderer Weise verändert wird.

Von den Methoden, die Palladiumchlorür verwenden, erscheint neuerdings am besten die von Potain und Drouin¹⁾. Diese Forscher saugen die zu untersuchende Luft mittels eines fein ausgezogenen Glasröhrchens in langsamen Bläschen durch 10 ccm einer Lösung, die 1 mg Palladiumchlorür enthält und mit 2 Tropfen Salzsäure versetzt ist. Man muss dafür sorgen, dass die 10 ccm Absorptionslösung recht gut ausgenutzt werden, also sich etwa in einem engen, langen Reagierglas befinden, wo sie eine hohe Flüssigkeitssäule ausmachen. Dieses Reagierglas wird mit einem doppelt durchbohrten Kautschukstopfen verschlossen, dessen eine Bohrung das oben erwähnte, bis fast zum Glasboden reichende, fein ausgezogene Röhrchen trägt, während in der andern Bohrung ein kurz unter dem Stopfen endendes Rohr sitzt, das mit einem Aspirator in Verbindung gebracht wird.

Ist CO vorhanden, so scheidet sich schwarzes Palladium aus; zugleich wird die anfangs deutlich gelbe Lösung nach und nach farblos. Durch kolorimetrischen Vergleich dieser vom Palladium abfiltrierten Lösung mit einer solchen, die noch nicht mit Kohlenoxyd in Berührung war, lässt sich annähernd auch die Menge des Kohlenoxyds feststellen.

Eine Methode von A. Gautier²⁾, die die quantitative Be-

1) Compt. rend. de l'Acad. des sciences T. CXXVI. 988.

2) Ebenda CXXVI. 931.

stimmung des Kohlenoxyds durch Titration der Palladiumlösung mit Jodsäureanhydrid (J_2O_3) erreichen will, ist noch zu wenig ausgearbeitet, als dass sie hier berücksichtigt werden könnte. Es sei nur darauf aufmerksam gemacht, weil das Verfahren vielleicht noch einer Entwicklung und Ausgestaltung fähig ist. —

Zum qualitativen Nachweis von Kohlenoxyd in der Luft benutzt Fodor Palladiumpapier. Um dieses zu bereiten, wird feines Filtrierpapier mit einer neutralen Lösung von 0,2 g Palladiumchlorür in 100 ccm Wasser getränkt, gut getrocknet (in reiner Luft, an einem staubfreien Orte) und dann in Streifen geschnitten. Nun füllt man eine 10 Liter fassende Flasche mit der zu untersuchenden Luft, bringt einige Kubikcentimeter reines Wasser und an einem Platin-drahte das Reagenzpapier hinein und verkorkt die Flasche. Bei 5 Teilen Kohlenoxyd (auf 1000 Teile Luft) zeigt sich auf dem Papier schon nach einigen Minuten ein schwarzes glänzendes Häutchen, bei 1 Teil nach 2—4 Stunden, bei 0,5 Teilen nach 12—24 Stunden.

Die Entdeckung, dass Kohlenoxyd das Blut in besonderer Weise verändert — worauf auch die hohe Giftigkeit dieses Gases beruht — rührt von Hoppe-Seyler¹⁾ her. Das Kohlenoxyd verdrängt aus dem im Blut enthaltenen Oxyhämoglobin den Sauerstoff und bildet Kohlenoxydhämoglobin. Zum Nachweis bedient man sich des Spektralapparates, weil das Oxyhämoglobin etwas andere Absorptionsstreifen²⁾ zeigt, als das Kohlenoxydhämoglobin. Oxyhämoglobin, also normales Blut, zeigt in Gelb und Grün zwischen den Fraunhoferschen Linien *D* und *E* (*b*) zwei Absorptionsstreifen mit scharfen Rändern, wie dies aus der Fig. 23 (Seite 195), oberstes Spektrum hervorgeht³⁾.

Kohlenoxydhämoglobin zeigt diese Streifen ebenfalls (Fig. 23,

1) Ztschr. f. anal. Chemie, 1864, 439.

2) Das Prinzip der Spektralanalyse und die Behandlung der Spektroskope muss als bekannt vorausgesetzt werden. Empfehlenswerte Werke sind: H. W. Vogel, Prakt. Spektralanalyse irdischer Stoffe, 1889 und G. H. Krüss, Kolorimetrische und quantitative Spektralanalyse in ihren Anwendungen in der Chemie, 1891.

3) In Fig. 23 sind für jedes Absorptionsspektrum zwei Darstellungsarten neben einander zur Anschauung gebracht. Links sind die Spektren gezeichnet, wie sie sich im Spektroskop selbst darstellen; was dem Auge hell erscheint, ist weiss gelassen; je stärker die Verdunklung ist, um so schwärzer sind die betreffenden Stellen der Zeichnung. — Rechts ist die graphische Methode der Darstellung gewählt, d. h. die Intensität der Verdunklung ist durch einen mehr oder weniger hohen schwarzen Strich angedeutet, sodass das ganze Absorptionsspektrum in Form einer Kurve erscheint.

zweites Spektrum), sie liegen jedoch hier näher aneinander und haben verwaschene Ränder.

Ist diese Unterscheidung immerhin nicht leicht und mit Sicherheit jedenfalls nur dem Geübten möglich, so lässt sich dieses Verfahren sehr sicher gestalten, sobald man dem Blut ein Reduktionsmittel wie z. B. Schwefelammonium zusetzt. Durch diesen Zusatz wird das Oxyhämoglobin des normalen Blutes sofort reduziert, während das viel beständigere Kohlenoxydhämoglobin nicht angegriffen wird. Man sieht im Spektrum 3 der Fig. 23, dass durch den Schwefelammonzusatz die beiden Absorptionsstreifen des Oxyhämoglobins verschwunden sind und nun einem schwachen, verwaschenen Absorptionsstreifen Platz gemacht haben, der etwa in der Mitte zwischen den früher vorhandenen beiden Oxyhämoglobin-streifen liegt.

Wird aber kohlenoxydhaltiges Blut mit Schwefelammon versetzt, so tritt kaum eine Veränderung in der Lage und Intensität der beiden Absorptionsstreifen ein — das Kohlenoxydhämoglobin wird vom Schwefelammonium nicht beeinflusst.

Zur 1) Ausführung der Untersuchung bereitet man eine Lösung von 10 ccm frischem Rindsblut mit 40 ccm destilliertem Wasser und giesst diese 50 ccm in eine 3—6 l fassende, geeichte Glasflasche, nachdem man diese zuvor mit der zu untersuchenden Luft gefüllt hat. Man kann sich dazu der für die Pettenkofer'sche Kohlendioxydbestimmung benutzten Flasche (Seite 191) bedienen und wie dort die Füllung mit der Untersuchungsluft durch einen Blasebalg vornehmen.

1) Zum Teil nach Fischer „Untersuchung der Luft“, aus Bolley's Handbuch d. chem. Technol. Bd. I. 2. 3.

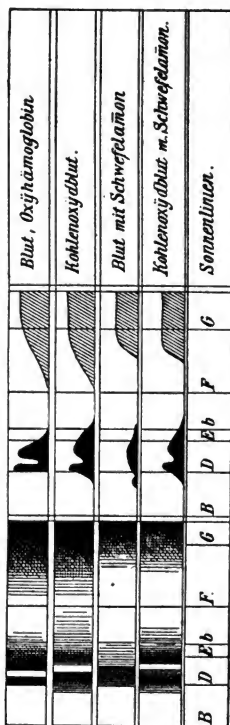


Fig. 23.

Sobald die 50 ccm Blutlösung in die Flasche eingelaufen sind, verschliesst man diese mit der Kautschukklappe und schüttelt nunmehr stark, sodass sich die Flüssigkeit ringsum an der Wandung verteilt, stellt 2 Minuten hin, schüttelt aufs neue und wiederholt dies 4—5mal. Dann entleert man die Blutlösung und prüft zunächst ihre Farbe durch einen Vergleich mit der nicht zur Untersuchung verwendeten, gleichstarken Blutflüssigkeit. Es hat sich nämlich gezeigt, dass kohlenoxydhaltiges Blut eine eigentümliche, andere Färbung besitzt als gewöhnliches Blut; es sieht mehr violettrot aus als dieses und erhält bei Zusatz von Alkalien einen hell zinnoberroten Ton.

Dann schreitet man zur spektroskopischen Betrachtung; man verwendet dabei farblose Reagiergläser von 1 cm Weite und prüft bei Tageslicht. Zeigt sich beim Zusatz von Schwefelammonium keine Änderung im Verhalten der Blutbänder, so ist Kohlenoxyd vorhanden.

Sehr zweckmässig ist es auch, die zu untersuchende Luft mit einer Blutlösung zu schütteln, die man vorher mit Ammoniumsulfid (Schwefelammonium) versetzt, und in der man die vollständig normale Bildung des Reduktionsstreifens festgestellt hat. Ist in der Luft nur wenig Kohlenoxyd, so wird man nach dem Schütteln in der entleerten Flüssigkeit Kohlenoxydhämoglobin und Oxyhämoglobin haben. Letzteres wird allmählich wieder reduziert, ersteres aber nicht, und so bietet sich nach einem Stehenlassen von etwa 15 Minuten ein anderes Bild, als vorher, ehe man die Blutlösung mit der zu untersuchenden Luft schüttelte.

Hinzugefügt sei, dass man auf 10 ccm Blut etwa 2 Tropfen Ammoniumsulfidlösung zusetzt, und dass es auch bei normalem Blut einige Minuten dauern kann, bevor die Reduktion erfolgt ist.

Die Veränderung des Palladiumchlorürs durch Kohlenoxyd bietet bei weitem nicht die Sicherheit in der Erkennung dieses Gases, wie die spektroskopische Blutprüfung. Dies rührt daher, dass auch noch andere Stoffe, die gelegentlich in der Luft vorkommen können, wie Äthylen, Acetylen, Schwefelwasserstoff, Schwefelammonium, Wasserstoff und ähnliche Gase, eine Reduktion der Palladiumlösung herbeiführen. Das ist bedauerlich, weil im übrigen die Palladiummethode empfindlicher zu sein scheint als die Blutmethode.

Grosse Sicherheit und Empfindlichkeit bietet die Methode von Fodor¹⁾, die eine Kombination des Palladium- mit dem Blut-

1) Deutsche Vierteljahrsschr. f. öffentl. Gesundheitspflege XII. 377.

verfahren ist. Fodor schüttelt nämlich die zu untersuchende Luft mit Blut, treibt aus diesem das Kohlenoxyd durch Erwärmen wieder aus und leitet es in eine Palladiumchlorürlösung hinein.

Die Ausführung gestaltet sich zu Anfang ebenso wie die beschriebene Blutprobe. Es wird also eine geaichte Flasche mit der Untersuchungsluft gefüllt, verdünnte Blutlösung zugegossen, die Flasche verschlossen und geschüttelt, bis man sicher sein kann, dass etwa vorhandenes Kohlenoxyd von dem Blute absorbiert ist. Dann bringt man diese Blutlösung in einen Kolben mit doppelt durchbohrtem Kork und saugt durch den Kolben mittels eines Aspirators Luft hindurch. Die Luft muss, ehe sie in den Kolben gelangt, ein kleines Absorptionskölbchen mit Palladiumchlorür durchströmen, um von allen Stoffen befreit zu werden, die in den dahinter liegenden Versuchsgefässen eine Palladiumreduktion bewirken könnten. Zwischen dem mit der Blutlösung gefüllten Kolben und dem Aspirator liegen 3 Absorptionskölbchen, von denen das erste konzentrierte Schwefelsäure, das zweite Bleiacetatlösung und das dritte endlich Palladiumchlorürlösung¹⁾ enthält. Der Versuchskolben mit der Blutlösung wird auf ein kochendes Wasserbad gesetzt. Die Schwefelsäure dient dazu, Ammoniak zu absorbieren, das Bleiacetat ist bestimmt, Schwefelwasserstoff aufzunehmen; Ammoniak und Schwefelwasserstoff entwickeln sich aus dem erwärmten Blut und müssen beseitigt werden, weil sie ihrerseits das Palladiumchlorür im dritten Kölbchen zersetzen würden.

Ist der Aspirator in Thätigkeit, so streicht die Luft zuerst durch Palladiumchlorür (zur Reinigung), geht dann durch die erwärmte Blutlösung und entführt ihr die entwickelten Gase, von denen das Ammoniak durch die Schwefelsäure, danach der Schwefelwasserstoff durch das Bleiacetat und schliesslich das Kohlenoxyd durch Palladiumchlorür aufgenommen wird; hinter diesem letzteren Kölbchen ist der Aspirator angeschaltet. Die Erwärmung des Blutes und das Überleiten von Luft muss mindestens eine halbe Stunde lang fortgesetzt werden.

Ist Kohlenoxyd in der Luft vorhanden, so zeigt sich eine bräunliche bis schwarze Verfärbung oder Ausscheidung in der Palladiumlösung. Während die spektroskopische Methode höchstens 2,5 ‰ Kohlenoxyd anzeigt — eine Menge, die sanitär bei weitem nicht mehr zulässig ist —, erlaubt die Fodor'sche Methode, noch 0,2 ‰ Kohlenoxyd mit Sicherheit zu erkennen.

1) Die Stärke der Lösung soll 1:500 sein; man löst also beispielsweise 0,05 g Palladiumchlorür in 25 ccm destillierten Wassers.

3. Schwefelwasserstoff.

Was den qualitativen Nachweis von Schwefelwasserstoff betrifft, so wurde schon Seite 21 erwähnt, dass der Geruchssinn gegenüber diesem Gase so ausserordentlich empfindlich ist, dass dadurch 1 Teil Schwefelwasserstoff noch in 3 Millionen Teilen Luft wahrgenommen wird. So empfindlich ist bei weitem kein chemisches Reagens, und dass man dennoch solche zum Nachweis von Schwefelwasserstoff benutzt, geschieht nur, um einen subjektiven Faktor — wie es der Geruch doch immer bleibt — auszuschalten.

Zum qualitativen Nachweis von Schwefelwasserstoff bedient man sich der Lösung eines Bleisalzes (Bleiacetat oder Bleinitrat), die bei Einwirkung von Schwefelwasserstoff unter Bildung von Bleisulfid geschwärzt wird. Gewöhnlich wendet man nicht die Bleilösung als solche, sondern damit getränktes Filtrierpapier (Bleipapier) als Reagens für den genannten Zweck an.

Eine gute Methode zum Nachweis minimaler Schwefelwasserstoffmengen in der Luft, die auf der Farbenänderung von Bleipapier beruht, rührt von K. B. Lehmann¹⁾ her:

Durch eine Glasröhre von 30 cm Länge und 12 mm Weite, in die ein mit Bleinitratlösung getränkter²⁾ Filtrierpapierstreifen von 5 cm Länge und 2 cm Breite geschoben ist, werden 8 l Luft mittels Aspirators durchgesaugt und zwar mit einer Geschwindigkeit, dass 6 l innerhalb 30 Minuten hindurchstreichen. Eine Luft, von der 8 l das Bleipapier blass gelblichbraun färben, enthält ca. 1,4—2 Milliontel Volum Schwefelwasserstoff. Tritt eine kräftig braune Färbung ein, so beträgt der Schwefelwasserstoffgehalt der Luft ca. 3, bei dunkelbrauner Färbung ungefähr 5, bei schwarzbrauner Färbung 8 und mehr Milliontel Volum Schwefelwasserstoff.

Diese Methode giebt zwar in quantitativer Hinsicht nur annähernd genaue Resultate, aber sie ist sehr bequem und reicht für die meisten Zwecke aus. Für genauere Bestimmungen der Schwefelwasserstoffmengen empfiehlt K. B. Lehmann (l. c.) folgendes Verfahren:

8 l Luft werden (wieder mit einer Geschwindigkeit von 6 l in 30 Minuten) mittels Aspirators durch 10 ccm $\frac{1}{100}$ Normal-Jodlösung geleitet; diese Lösung befindet sich also in einem Absorptionskölbchen. Hinter die Jodlösung (vor den Aspirator) schaltet man ein Gefäss

1) Arch. f. Hygiene XXX. 262.

2) Wird das Bleipapier nach dem Trinken und Trocknen (in verschlossener Flasche) vorrätig gehalten, so darf man bei Anstellung des Versuches niemals versäumen, das Papier leicht mit destilliertem Wasser zu befeuchten.

mit 10 ccm $\frac{1}{100}$ Normal-Natriumhyposulfitlösung ein, um das durch den Luftstrom mitgerissene Jod aufzunehmen. Aus der verbrauchten Jodmenge berechnet sich der Schwefelwasserstoffgehalt der Luft.

Der Schwefelwasserstoff H_2S tritt nämlich in folgender Weise mit dem Jod J in Reaktion:



Das übrig bleibende (nicht gebundene) Jod titriert man mit einer Lösung von Natriumhyposulfit (Natriumthiosulfat) $Na_2S_2O_3$:



Als Indikator dient dabei Stärkekleister, der sich mit Jod unter Bildung von Jodstärke tief blau färbt.

Als Lösungen hat man demnach nötig:

1. $\frac{1}{100}$ Normal-Jodlösung; dieselbe enthält 1,2685 g reines Jod und 1,8 g Kaliumjodid in 1 l destillierten Wassers. 1 ccm = 0,17 mg Schwefelwasserstoff.

2. $\frac{1}{100}$ Normal-Natriumhyposulfitlösung; dieselbe enthält 2,4808 g reines kristallisiertes Natriumhyposulfit in 1 l destillierten Wassers. 1 ccm = 0,17 mg Schwefelwasserstoff.

3. Stärkekleister: 1 g Kartoffelstärke wird angerührt und in 100 ccm Wasser gekocht.

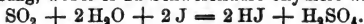
Der Stärkekleister ist stets frisch zu bereiten, die beiden andern Lösungen sind gut verschlossen aufzubewahren; ihr gegenseitiger Wirkungswert ist vor jedem Versuch neu zu ermitteln.

Nachdem in der oben beschriebenen Weise 8 l Luft durch die beiden Lösungen durchgesaugt sind, werden beide zusammen in ein Gefäß gespült. Darauf setzt man einige Tropfen Stärkekleister zu und lässt dann (unter Umrühren mit einem Glasstabe) aus einer Bürette soviel von der titrierten Jodlösung zufließen, dass die Lösung blau wird. Schliesslich giebt man tropfenweise aus einer Bürette Natriumhyposulfitlösung hinzu, bis die Flüssigkeit sich eben entfärbt. Setzt man dann die im ganzen verbrauchte Jodlösung zu der Natriumhyposulfitlösung in Beziehung, so giebt die Differenz in Kubikcentimetern an, wie viel mal 0,17 mg Schwefelwasserstoff in den 8 l Luft enthalten waren.

4. Schwefeldioxyd.

Das Schwefeldioxyd SO_2 , gewöhnlich schwefelige Säure genannt, wird schon in sehr geringen Mengen durch seinen stechenden Geruch erkannt.

Zur quantitativen Bestimmung bedient man sich seiner Reaktion gegen Jodlösung, wobei es zu Schwefelsäure oxydiert wird:



Man benutzt dieselben Lösungen, wie sie soeben zur quantitativen Bestimmung von Schwefelwasserstoff beschrieben sind; nur ist es oft ratsamer, die Lösungen zehnfach stärker zu nehmen, also $\frac{1}{10}$ Normal-Jodlösung und $\frac{1}{10}$ Normal-Natriumhyposulfitlösung zu verwenden ¹⁾.

Die Zusammenstellung des Apparates, die Art des Durchleitens und Titrierens bleibt ebenfalls genau so, wie oben für Schwefelwasserstoff beschrieben ist.

1 ccm der $\frac{1}{10}$ Normal-Natriumhyposulfitlösung entspricht 3,2 mg Schwefeldioxyd.

1 ccm $\frac{1}{100}$ Normal-Natriumhyposulfitlösung entspricht 0,32 mg Schwefeldioxyd.

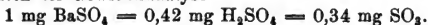
5. Schwefelsäure.

Zur Feststellung und Bestimmung von Schwefelsäure in der Luft bedient man sich einer durch Salzsäure schwach angesäuerten Bariumchloridlösung. Man saugt die Luft mittels Aspirators durch ein Absorptionskölbchen, das die Bariumchloridlösung enthält. Ist Schwefelsäure vorhanden, so zeigt sich eine weisse Trübung von unlöslichem Bariumsulfat:



Diese Reaktion ist aber nur beweisend, wenn die Bariumlösung durch Salzsäure angesäuert ist; andernfalls verursacht schon das Kohlendioxyd der Luft eine weisse Trübung von Bariumcarbonat.

Soll die Schwefelsäure der Luft quantitativ bestimmt werden, so hat man erstens die Menge der durchgesaugten Luft festzustellen und weiter das ausgeschiedene Bariumsulfat auf ein Filter zu bringen, dieses nach dem Trocknen zu veraschen und das reine Sulfat zu wägen. Die Einzelheiten richten sich nach den allgemeinen Vorschriften der Gewichtsanalyse



Man berechnet nämlich die Schwefelsäure theils als eigentliche Säure (H_2SO_4), theils als Schwefelsäureanhydrid (SO_3). Bei Analysen muss daher angegeben werden, welcher von beiden Faktoren gemeint ist.

1) $\frac{1}{10}$ Normal-Jodlösung enthält in 1 l 12,685 g Jod und 18 g Jodkalium.

$\frac{1}{10}$ Normal-Natriumhyposulfitlösung enthält in 1 l 24,808 g kristallisiertes Natriumhyposulfit.

6. Chlor.

Zur Bestimmung von Chlor leitet man die Luft durch eine Lösung von 1 g Kaliumjodid in 20 g Wasser; freies Chlor spaltet das Kaliumjodid:

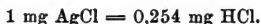


Das frei gewordene Jod wird dann auf die Seite 199 beschriebene Weise durch Titration mit Natriumhyposulfit bestimmt; nur benutzt man zweckmässig nicht $\frac{1}{100}$, sondern $\frac{1}{10}$ Normal-Natriumhyposulfitlösung (vgl. Anm. Seite 200).

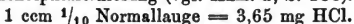
1 ccm $\frac{1}{10}$ Normal-Natriumhyposulfitlösung = 3,55 mg Chlor.

7. Chlorwasserstoff.

Um Salzsäure (Chlorwasserstoff) in der Luft nachzuweisen, leitet man diese durch Silbernitratlösung, die mit etwas Salpetersäure angesäuert ist. Hierbei erzeugt Salzsäure einen weissen, am Licht violett werdenden Niederschlag von Silberchlorid. Zur quantitativen Bestimmung kann dieser auf einem gewogenen Filter gesammelt und nach Trocknen bei 100° durch Wägung bestimmt werden.



Man kann auch die Luft zur quantitativen Bestimmung der Salzsäuredämpfe durch $\frac{1}{10}$ Normal-Natronlauge leiten und diese dann mit $\frac{1}{10}$ Normal-Schwefelsäure titrieren; als Indikator dient dabei eine Phenolphthaleinlösung (vgl. Anm. 2, S. 188).



Bei Anwendung dieses titrimetrischen Verfahrens ist zu bedenken, dass auch andere Säuredämpfe und saure Gase mit als Salzsäure bestimmt werden; man kann also diese Methode nur verwenden, wenn vorauszusetzen ist, dass die Luft ausser Salzsäure keine saueren Bestandteile enthält.

8. Ammoniak.

Am leichtesten lässt sich Ammoniak im Regenwasser ermitteln. Will man es direkt in der Luft nachweisen, so saugt man nach Fodor¹⁾ mindestens 1 cbm Luft zunächst durch einen Pfropfen Glaswolle, um den atmosphärischen Staub zurückzuhalten, dann durch zwei U-Röhren, in deren Schenkeln sich eine 30 cm hohe Schicht Glaswolle befindet, welche mit 4 ccm Schwefelsäure be-

1) Fodor, „Luft, Wasser und Boden“, Seite 74.

feuchtet ist. Das Durchleiten von 1 cbm Luft durch diesen Apparat soll etwa 1 Tag in Anspruch nehmen. Dann wird die Lösung mit Wasser ausgespült, in eine Retorte gegeben und unter Zusatz von überschüssiger Kalkmilch destilliert. Im Destillat bestimmt man das Ammoniak kolorimetrisch mit Nessler'schem Reagens¹⁾ unter Benutzung einer Vergleichsflüssigkeit von bestimmtem Ammoniakgehalt.

Während diese Methode für sehr minimale Ammoniakmengen bestimmt ist, kann man bei stärkerem Ammoniakgehalt der Luft einfach, wie folgt, verfahren:

Man leitet die Luft in $\frac{1}{10}$ Normal-Schwefelsäure ein und titriert den nicht gebundenen Teil der Schwefelsäure mit $\frac{1}{10}$ Normal-Ammoniak zurück; die gebundene Schwefelsäuremenge bestimmt den Ammoniakgehalt in der untersuchten Luftquantität.

1 ccm $\frac{1}{10}$ Normal-Schwefelsäure = 1,7 mg NH_3 .

Bei dieser Titration ist als bester Indikator Korallin (Rosolsäure) zu empfehlen: Man löst 1 g Korallin in 500 ccm Alkohol von 80 Vollproz. (spez. Gew. 0,864 bei 15° C.) und neutralisiert die Lösung mit Barytwasser, bis sie eine orangerote Farbe hat. Diese Färbung geht beim geringsten Säureüberschuss in Gelb, bei Alkali-zusatz in Rot über.

9. Salpetersäure.

Auch diese wird am besten im Regenwasser ermittelt. Um ihre Anwesenheit direkt in der Luft zu bestimmen, leitet man diese durch destilliertes Wasser, und zwar muss mindestens 1 cbm Luft durch-gesaugt werden.

Nach Beendigung des Versuches giesst man das Wasser aus der Absorptionsröhre in ein Porzellanschälchen, giebt einige Körnchen festen Diphenylamins und dann konzentrierte Schwefelsäure in solcher Menge zu, dass sie dem im Schälchen befindlichen Wasser etwa gleich kommt. Bei Anwesenheit von Salpetersäure gehen von den Diphenylaminkörnchen blaue Streifen aus, die sich beim Hin- und Herneigen des Schälchens immer mehr verstärken.

Anstatt des Diphenylamins kann man auch Brucin benutzen, das sich mit Salpetersäure (und konzentrierter Schwefelsäure) gelbrot bis blutrot färbt.

1) Nessler'sches Reagens ist eine Quecksilberkaliumjodidlösung; bei Gegenwart von Ammonsalzen entsteht ein gelber bis orangefarbener Niederschlag, bei sehr geringen Ammoniakmengen nur eine ebensolche Färbung. Bei der Anwendung der Methode ist darauf zu achten, dass sämtliche Reagentien frei von Ammon sind, oder es muss ihr Ammongehalt bekannt sein.

Sehr zweckmässig kann man die Probe mit Diphenylamin und Brucin auch so ausführen, dass man in ein trocknes Reagierglas 2 ccm konzentrierte Schwefelsäure giesst und darin einige Körnchen Diphenylamin (oder Brucin) löst. Dann schichtet man vorsichtig etwas von dem Wasser aus der Absorptionsröhre über die Schwefelsäure: Bei Gegenwart von Salpetersäure bildet sich an der Berührungsstelle beider Flüssigkeiten ein blauer — bei Brucin ein roter — Ring. Diese Färbung verteilt sich beim Schütteln durch die ganze Flüssigkeit.

10. Ozon und Wasserstoffsperoxyd.

Der Nachweis des Ozons in der Luft ist, wie schon erwähnt wurde, noch sehr zweifelhafter Natur. E. Schöne¹⁾ betont noch in neuerer Zeit, dass die Gegenwart von Ozon in der atmosphärischen Luft überhaupt noch nicht bewiesen sei, sondern nur diejenige des Wasserstoffsperoxyds. Jedenfalls lassen es alle Nachweisungsverfahren zweifelhaft, welcher der beiden genannten Stoffe durch ihre Reaktion festgestellt wird.

Von gewissem Werte mag der qualitative Nachweis des Ozons (und Wasserstoffsperoxyds) sein, weil seine Anwesenheit als Beweis dafür dienen kann, dass die untersuchte Luft zur Zeit von organischen Staubteilchen, übelriechenden Stoffen u. s. w. frei ist (vgl. Seite 15). Dagegen hat der Versuch einer quantitativen Bestimmung des Ozons in der Luft gar keine Bedeutung.

Zum Nachweis des Ozons (O₃) benutzte man lange Zeit ausschliesslich — und auch jetzt noch vielfach — seine Einwirkung auf Kaliumjodid (KJ):



Das Ozon wird also in gewöhnlichen Sauerstoff übergeführt, während sich Jod ausscheidet. Setzt man dem KJ vor dem Versuch Stärke zu, so macht sich das ausgeschiedene Jod durch eine Bläuung, von Jodstärke herrührend, bemerklich. Gewöhnlich benutzt man die Jodkalium-Stärke-Lösung nicht als solche, sondern trinkt damit Filtrierpapier. Die zum Tränken dieses Jodkaliumstärkepapiers nötige Lösung wird, wie folgt, bereitet:

1 g Kaliumjodid und 10 g Kartoffelstärke werden mit 200 g Wasser zu einem Kleister gekocht und dieser mit Wasser auf 1000 ccm verdünnt. Die mit der so bereiteten Lösung getränkten Filtrierpapierstreifen werden in reiner, staubfreier Luft schnell ge-

1) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1880, 1503.

trocknet und in einem gut verschlossenen Gefäß, vor Licht geschützt aufbewahrt¹⁾.

Will man den Ozongehalt der Atmosphäre bestimmen, so hängt man derartiges Papier 24 Stunden lang an einem gegen Sonnenlicht geschützten Ort in der Luft auf, befeuchtet es dann und vergleicht den entstandenen (hellblauen bis dunkelblau-violetten) Farbenton mit einer (von der Firma Lender gelieferten) 16stufigen Farbenskala. Diese Skala ist etwas verschieden von der ursprünglichen Schönbeinschen Skala, bei der im übrigen ebenfalls aus Intensität der Blaufärbung auf die vorhandene Ozonmenge geschlossen wurde.

Die geschilderte Methode ist nicht nur ungenau, sondern sie ist ganz und gar zu verwerfen. Es hat sich gezeigt, dass die Bläuung viel weniger von dem Ozongehalt als von der Feuchtigkeit der Luft und von ihrer Zirkulation (Windgeschwindigkeit) abhängt.

Eine Verbesserung der Methode, welche die genannten Fehler wenigstens zum Teil beseitigt, besteht darin, dass man das Papier einem Luftstrom von bestimmter, gleichbleibender Geschwindigkeit aussetzt. Man spannt es nämlich in ein Glasrohr²⁾ ein und saugt durch dasselbe mittels Aspirators die Luft mit einer Geschwindigkeit von etwa 0,5 m pro Sekunde hindurch.

Auch hier wird der bedeutende Fehler nicht ausgeschieden, den die Feuchtigkeitsschwankungen der Luft mit sich bringen. Aus diesem Grunde hat man vorgeschlagen, anstatt des Jodkaliumstärkepapiers Streifen von Thalliumpapier zu benutzen, weil letzteres von der Feuchtigkeit gar nicht beeinflusst wird.

Zum Tränken des Thalliumpapiers benutzt man eine Lösung von 1 Teil Thalliumoxydulhydrat³⁾ in 10 Teilen Wasser. Das damit getränkte Filtrierpapier⁴⁾ wird nach dem Trocknen der zu untersuchenden Luft ausgesetzt. Besser ist auch hier, das Papier in eine Röhre einzuspannen und die Luft hindurchzusaugen. Das Ozon (und Wasserstoffsperoxyd) spaltet das Thalliumoxydulhydrat unter Ausscheidung von braunem Thalliumoxyd; die Stärke der Braunfärbung soll einen Rückschluss auf die Ozonmenge zulassen.

Als besonders empfindliches Reagens auf Ozon ist neuerdings

1) Jodkaliumstärkepapier ist auch fertig von Lenda, Berlin SW. zu beziehen.

2) Man wählt zwei Glasröhren, die gerade über einander passen. Das Ozonpapier wird über die Mündung des engeren Rohres gelegt (darf diese aber nicht ganz verschliessen) und durch das übergeschobene weitere Rohr festgehalten. Letzteres wird auf dem engeren Rohr durch ein Schlauchstück fixiert.

3) Das Thalliumoxydulhydrat erhält man durch Zersetzung äquivalenter Mengen von Thalliumsulfat und Bariumhydrat.

4) Das Thalliumpapier ist auch gebrauchsfertig zu beziehen.

das Tetramethylparaphenylendiamin-Papier, auch kurz Tetrapapier genannt, von Wurster empfohlen worden. Das farblose Papier¹⁾ wird bei Berührung mit oxydierenden Substanzen blauviolett gefärbt. Man spannt es, nach Befeuchtung mit Glycerin, in eine Glasröhre ein, durch die ein Strom der zu untersuchenden Luft durchgesaugt wird; schliesslich vergleicht man die Färbungsintensität des Papierstreifens mit einer zugehörigen Farbenskala.

Zur Vervollständigung sei noch angeführt, dass man auch vorgeschlagen hat²⁾, die Luft in langsamem Strome durch ein Absorptionskölbchen streichen zu lassen, das eine Lösung von arsenigsaurem Kali und ausserdem eine solche von Kaliumjodid enthält. Das freiwerdende Jod verwandelt einen aliquoten und durch Titration leicht bestimmbaren Teil des arsenigsauren Kalis in arsensaures Kali. Die Resultate dieser Methode sind keineswegs befriedigend, weil einestheils sehr grosse Luftmengen hindurchgesaugt werden müssen, um das Ozon titrimetrisch bestimmen zu können, und weil andererseits das Durchsaugen doch wieder sehr langsam geschehen muss, wenn das Ozon vollständig zur Einwirkung auf die Absorptionslösung kommen soll.

Alle Ozonbestimmungsmethoden sind so ungenau und so wenig beweisend für den beabsichtigten Zweck, dass man keine einzige recht empfehlen kann. Wir stimmen ganz mit Fischer³⁾ überein: „Bevor kein zuverlässigeres Reagens für Ozon gefunden ist als die bisher gebräuchlichen, welche auch von Salpetrigsäure, Schwefelwasserstoff, Schwefligsäure und anderen Bestandteilen der Atmosphäre beeinflusst werden, erscheint die Untersuchung der Luft auf Ozon völlig zwecklos.“

11. Staub.

Zur Bestimmung des Luftstaubes sind ausserordentlich zahlreiche Methoden vorgeschlagen worden. Man⁴⁾ hat die Luft durch Schiessbaumwolle geleitet, letztere in Alkohol gelöst und den Rückstand gewogen. Man⁵⁾ hat die Luft durch ein mit destilliertem Wasser beschicktes Absorptionskölbchen streichen lassen, das Wasser

1) Das Tetrapapier und die zugehörige Farbenskala werden von Schuchardt in Görlitz geliefert.

2) Ann. de l'Observ. d. Montsouris 1879, 416.

3) Fischer, Die chemische Technologie der Brennstoffe. Braunschweig 1887.

4) Pasteur, Compt. rend. L. 302; LXXXV. 178.

5) Smith, Air and Rain.

verdampft und den Rückstand durch Wägung bestimmt. Andere ¹⁾ wieder haben die angesaugte Luft gegen eine mit Glycerin überzogene Fläche geleitet. Fodor ²⁾ saugte sie durch ein Rohr mit Glaswolle, u. s. w. Zweckmässig erscheint folgende Methode, die wir in der Fassung von Emmerich und Trillich (l. c.) wiedergeben:

„Man bringt in ein Allihn'sches Filterröhrchen ³⁾ ein Bündelchen reinen, geglähten, faserigen Asbest, den man im Röhrchen vor der engen Öffnung zu einem lockeren Pfropf formt, trocknet bei 100° C., lässt im Exsikkator erkalten und wägt, verbindet dann das enge Röhrchen mit einer Gasuhr und diese mit einem Aspirator oder einer Luftpumpe und saugt nun die zu untersuchende Luft durch das Röhrchen, indem man ihr Volumen an der Gasuhr misst.

Man trocknet nun das Röhrchen neuerdings bei 100° C., lässt im Exsikkator erkalten und wägt; die Gewichtszunahme ist gleich dem in der durchgesaugten Luft enthaltenen Staub.

Zur Bestimmung der organischen Substanz bringt man den Asbest mit Staub in eine geglähte gewogene Platin- oder Porzellanschale, wägt ab, glüht bis die Kohle verbrannt ist, ersetzt die entwichene Kohlensäure durch Uebergiessen mit Ammonkarbonatlösung, dampft zur Trockne ein und glüht wieder gelinde. Der Gewichtsverlust ist dann annähernd gleich der im Staub enthaltenen organischen Substanz.“

Die Bestimmung des organischen Anteils im Luftstaub und der organischen Substanzen der Luft überhaupt hat zahlreiche Forscher beschäftigt und sie ist dementsprechend durch mannigfaltige Methoden versucht worden. Dass die Resultate im allgemeinen nicht sehr befriedigend sind, liegt zumeist daran, dass die verschiedenen organischen Stoffe in den Eigenschaften so sehr von einander abweichen und auf die benutzten Reagentien in ganz verschiedener Weise einwirken.

Ein namentlich in England vielbenutztes Verfahren zur Bestimmung der organischen Bestandteile der Luft rührt von I r a R e m s e n ⁴⁾ her: Die zu untersuchende Luft wird durch ein Rohr gesaugt, das mit Wasser benetzte Bimssteinstückchen enthält. Nach dem Durch-

1) Maddox, Monthly microscop. journ. III. 283.

Miquel, Compt. rend. LXXXVI. 1552.

2) Fodor, Luft, Wasser und Boden. Seite 92.

3) Das Allihn'sche Filterröhrchen besteht aus einer etwa 10 cm langen, reichlich 1 cm weiten Glasröhre, die an dem einen Ende schroff verjüngt ist und in ein kurzes Röhrchen von etwa 3 mm Weite übergeht.

4) National Board of health Bullet. II. Nr. 11. Deutsche Vierteljahrsschrift f. öffentl. Gesundheitspflege 1881, 307.

leiten wird die Absorptionsmasse mit Natriumkarbonat destilliert und nun im Destillat zuerst das Ammoniak mit Nessler'scher Lösung kolorimetrisch bestimmt (vgl. Seite 202). Der Rückstand wird dann mit alkalischer Permanganatlösung gekocht und das durch Zersetzung der organischen Stoffe gebildete sogenannte Albuminoidammoniak ebenso bestimmt.

Das Verfahren ist weder bequem noch irgendwie genau. Viel empfehlenswerter erscheint die Methode von Uffelmann¹⁾:

Man leitet 20 l Luft in sehr langsamem Strome durch zwei U-förmig gebogene, sogenannte Peligotsche Röhren, deren erste 50 ccm verdünnte Schwefelsäure, deren zweite 50 ccm verdünnte Kalilauge²⁾ enthält, giesst beide Flüssigkeiten zusammen und titriert in saurer Lösung mit Kaliumpermanganatlösung.

Zu dieser Titration bedarf man einer Oxalsäurelösung und einer Permanganatlösung, beide von bestimmtem Wirkungswerte.

Die Oxalsäurelösung bereitet man sich durch Auflösen von 0,7875 g kristallisierter Oxalsäure in 1 l destillierten Wassers. Von dieser Lösung entspricht 1 ccm genau 0,1 mg Sauerstoff. Man giebt nämlich nicht die Menge der organischen Substanz direkt an, sondern die zu ihrer Oxydation verbrauchte Sauerstoffquantität.

Die Kaliumpermanganatlösung kann man nur ungefähr der Oxalsäurelösung gleichwertig machen, weil sie fortwährenden Veränderungen unterworfen ist. Man löst daher etwa 0,4 g Kaliumpermanganat in 1 l destillierten Wassers und bestimmt bei jedem Versuch den Titer der Permanganatlösung.

Zur Ausführung des Versuches wird der Inhalt beider Peligotscher Röhren (nach Beendigung des Durchleitens) in eine peinlich gesäuberte³⁾ Porzellanschale von etwa 200 ccm Inhalt zusammengegossen; die in den Röhren zurückgebliebenen Flüssigkeitsreste werden mit etwas destilliertem Wasser nachgespült. Dann giebt man 5 ccm verdünnter Schwefelsäure⁴⁾ und 10 ccm der oben erwähnten Kaliumpermanganatlösung hinzu, kocht genau 5 Minuten,

1) Arch. f. Hygiene 1888, 270.

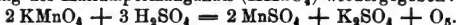
2) Man wählt zweckmässig die Kalilauge so stark, dass sie die Schwefelsäure in der andern Röhre ungefähr neutralisiert.

3) Um die Schale bei der Reinigung von allen organischen Substanzen zu befreien, kocht man sie mit destilliertem Wasser aus, dem etwas Schwefelsäure und einige Tropfen der Kaliumpermanganatlösung zugesetzt sind. Nach dem Auskochen entleert man die Schale und lässt sie dann gut abtropfen (ohne nochmals auszuspülen).

4) Die verdünnte Schwefelsäure soll 25proz. sein; man mischt 1 Gew.-Teil reiner konzentrierter Schwefelsäure (66° B.) mit 3 Teilen destillierten Wassers. — Jedenfalls muss die Titrationsflüssigkeit durch diesen Zusatz eine saure Reaktion erhalten.

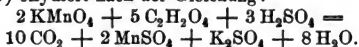
vom ersten Aufwallen an gerechnet, setzt darauf 10 ccm der Oxalsäurelösung zu und erwärmt weiter, bis die Flüssigkeit völlig farblos geworden ist und etwa ausgeschiedene Braunsteinflocken wieder gelöst sind. Hierauf setzt man unter stetem Kochen aus einer Glashahnbürette¹⁾ soviel Kaliumpermanganatlösung zu, bis eben wieder schwache, aber bleibende Rötung eintritt; während der Titration muss der Inhalt der Porzellanschale fortwährend mit einem Glasstabe umgerührt werden.

Es sind also im ganzen 10 ccm Oxalsäurelösung zugefügt, denen 10 ccm und die später aus der Bürette zugesetzte Menge Kaliumpermanganat gegenüberstehen. Durch das gesamte Permanganat sind erstens die 10 ccm Oxalsäure und zweitens die aus der Luft von den Flüssigkeiten der Peligotschen Röhren aufgenommenen organischen Substanzen oxydiert. Zum Verständnis sei die Reaktionsgleichung des Kaliumpermanganats (KMnO_4) wiedergegeben:



Aus 2 Molekülen Kaliumpermanganat werden also 5 Atome Sauerstoff abgespalten, während sich andererseits Mangansulfat (MnSO_4) und Kaliumsulfat (K_2SO_4) bilden. Die Schwefelsäure (H_2SO_4) löst den Braunstein (MnO_2), der sich sonst ausscheiden und die Reaktion trüben würde.

Die Oxalsäure ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) wird zu Kohlendioxyd (CO_2) und Wasser (H_2O) oxydiert nach der Gleichung:



Es entsprechen also 2 Moleküle Kaliumpermanganat dabei 5 Molekülen Oxalsäure²⁾.

Um einen Rückschluss auf die Menge der vorhandenen organischen Substanzen ziehen zu können, muss man, wie gesagt, das Reaktionsverhältnis zwischen der Permanganat- und Oxalsäurelösung kennen; von dem Gesamtverbrauch an Permanganat ist diejenige Menge abzuziehen, welche den zugesetzten 10 ccm Oxalsäurelösung entspricht.

Zum Zwecke dieser Titerstellung, die, wie erwähnt wurde, bei jedem Versuche neu geschehen muss, benutzt man gleich die eben

1) Man darf nur eine Glashahn- oder Giessbürette benutzen; eine solche mit Gummischlauchverbindung ist unstatthaft, weil das Gummi durch die Kaliumpermanganatlösung angegriffen wird, weil also letztere dabei ihren Wirkungswert ändert.

2) Bei der Berechnung der aufzulösenden Oxalsäurelösung hat man zu bedenken, dass der kristallisierten Oxalsäure nicht die Formel $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$, sondern $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ zukommt; sie enthält also 2 Moleküle Kristallwasser.

titrierte, noch kochendheisse, schwach gerötete Versuchsflüssigkeit¹⁾. Zu dieser lässt man neuerdings 10 ccm Oxalsäurelösung fließen und fügt unter Kochen aus der Glashahnbürette solange Permanganatlösung zu, bis eben wieder Rötung eintritt. Die verbrauchten Kubikzentimeter Permanganat sind von dem früheren Gesamtverbrauch an Kaliumpermanganat abzuziehen. Der Rest wird — entsprechend den Ergebnissen der Titerstellung — auf Oxalsäure umgerechnet; von dieser entspricht dann jeder Kubikzentimeter 0,1 mg Sauerstoff.

C. Mykologische Untersuchung.

Zuerst versuchte man auch zur Bestimmung der organisierten, der lebenden Bestandteile des Luftstaubes die gleichen und ähnliche Methoden zu benutzen, wie sie im vorhergehenden Abschnitt zu der Bestimmung des Luftstaubes überhaupt angeführt sind. Bald aber sah man ein, dass alle derartige Methoden für den vorliegenden Zweck versagen. Bei der mikroskopischen Prüfung des gesamten Staubes unterdrücken und verdecken die gröberen Partikel etwa vorhandene Bakterien; Sporen werden überhaupt kaum je mit Sicherheit erkannt, und bei wirklich sichtbaren Mikroorganismen bleibt immer noch die wichtigste Frage — die, ob sie leben und entwicklungsfähig sind — unbeantwortet.

Nur durch Kulturmethoden, durch die Vermehrung, die Züchtung der in der Luft enthaltenen Mikroorganismen ist es möglich, einen Anhalt über ihre Zahl und weiter über ihre Art, ihre Wirkung, ihre Schädlichkeit oder Unschädlichkeit zu gewinnen.

Es kann nicht die Aufgabe des vorliegenden Buches sein, die Entwicklung der Bakteriologie zu schildern und die Kulturmethoden mit allen Einzelheiten zu beschreiben. Vielmehr werden wir nur einen kurzen Abriss dessen geben, was man von der Ausbildung der Biologie unbedingt wissen muss, um mykologische Luftuntersuchungen vornehmen zu können. Hinsichtlich genauerer Angaben und Ergänzungen muss auf die unten genannten Werke²⁾ verwiesen werden.

1) Man kann sicher sein, dass in dieser Flüssigkeit durch den vorhergegangenen Versuch alle organischen Substanzen zerstört sind, und dass weder ein Überschuss an Oxalsäure, noch ein solcher an Permanganat vorhanden ist.

2) Flügge, Die Mikroorganismen. Leipzig 1886. — Fraenkel, Grundriss der Bakterienkunde. II. Aufl. Berlin 1887. — Hueppe, Die Methoden der Bakterienforschung. IV. Aufl. Wiesbaden 1889. — Cornil Blücher, Die Luft.

Da Mikroorganismen und ihre Keime überall in unserer Umgebung, in Luft, Wasser, Boden, in und auf Nahrungsmitteln, Gebrauchsgegenständen, Kleidungsstücken u. s. w. zu finden sind, so müssen alle zur Kultur von Mikroorganismen bestimmten Gefässe, Substrate und Instrumente keimfrei gemacht, d. h. sterilisiert werden. Denn nur unter dieser Voraussetzung kann man aus den Ergebnissen der Kultur Rückschlüsse ziehen; nur so weiss man, dass die zur Entwicklung gelangten Keime wirklich dem untersuchten Medium entstammen und nicht etwa von den beim Versuch gebrauchten Geräten und Utensilien herrühren.

Die Sterilisation ist keineswegs immer leicht zu erreichen, denn wenn auch die vollentwickelten Schimmel-, Spross- und Spaltpilze ohne Schwierigkeit abgetötet werden können, so haben doch die Dauerformen (Sporen) eine um so grössere Lebensfähigkeit, worauf schon Seite 32 hingewiesen wurde. Bei jeder Sterilisation muss man mit der Möglichkeit rechnen, dass derartige widerstandsfähige Dauerformen vorhanden sind; immer muss man so manipulieren, dass jene Dauerformen mit vernichtet werden. Besonders wichtig ist in dieser Hinsicht, dass alle Sporen (Keime) der Mikroorganismen viel schwerer in trockenem als in feuchtem Zustande durch Hitze abzutöten sind. Man unterscheidet deshalb die Sterilisation durch trockene, von der durch feuchte Hitze.

Die Sterilisation durch trockene Hitze braucht höhere Hitzegrade und kann nur angewendet werden für Gegenstände, die durch solche Hitze nicht leiden. Sie kommt also ist erster Linie für die Instrumente, Glasgefässe u. s. w. in Frage.

Die Sterilisation durch feuchte Hitze wird vornehmlich durch strömenden Wasserdampf bewirkt. Sie ist demnach nicht ganz so bequem auszuführen wie die Abtötung durch trockene Wärme, aber sie erreicht ihren Zweck schon bei 100° C. — einer Temperatur, die von den meisten Nährsubstraten ohne Schaden ertragen wird. Substanzen, die noch unterhalb der Wassersiedetemperatur sterilisiert werden müssen (wie z. B. Blutserum), kommen für vorliegenden Zweck nicht in Betracht.

Die einfachste Methode der Sterilisation durch trockene Wärme ist die direkte Erhitzung in einer Flamme; dieses Verfahren wird in erster Linie bei Metallgegenständen angewendet.

Glasgefässe, die die Kulturflüssigkeiten aufnehmen sollen, werden in Trockenschränken auf 160° C. erhitzt. Die Gegenstände müssen von dem Punkte an, wo das Thermometer des Trockenschrankes

et Babes, *Les Bactéries*. Paris 1890. — Heim, *Lehrbuch der Bakteriologie*. II. Auf. Stuttgart 1898.

160° zeigt, mindestens $\frac{1}{2}$ Stunde darin verbleiben; während dieser Zeit ist die gleiche Temperatur durch Erhitzen des Trockenschrankes dauernd zu erhalten.

Es ist selbstverständlich, dass einer derartigen Sterilisation bei 160° C. nur trockne Gegenstände unterworfen werden dürfen. Glasgefäße müssen vorher gut gereinigt und sorgfältig ausgetrocknet sein.

Um bei Glasgefäßen ein Eindringen neuer Keime nach der Sterilisation zu verhindern, müssen solche Gefäße keineswegs luftdicht verschlossen werden, sondern es genügt schon ein bakterien-dichter Verschluss, wozu unter anderm auch die Watte gehört. Gerade die ungeleimte Baumwolle wird zum Verschliessen von Gefäßen in der Bakteriologie am meisten benutzt. Man dreht daraus einen Pfropf, der nicht gar zu locker in der Öffnung sitzt, aber auch keineswegs so fest gepresst sein darf, dass die Luftzirkulation dadurch gehindert ist. Von Wichtigkeit ist es, dass der Wattepfropf immer trocken gehalten wird; sonst kann er nicht nur den Luftdurchgang einschränken, sondern sogar ermöglichen, dass, wenn auch keine Bakterien, so doch Schimmelpilze durch den Verschluss durchwachsen.

Es ist zu beachten, dass alle Glasgefäße mit ihren Verschlüssen vor der Aufnahme von Nährsubstraten in der vorgeschriebenen Weise durch trockne Hitze sterilisiert sein müssen, weil andernfalls die Sterilisation der mit Nährsubstrat gefüllten Gefäße zu lange dauern würde und dann die Zusammensetzung des Inhaltes schädigen könnte.

Wie schon angedeutet wurde, bedient man sich zum Keimfreimachen der biologischen Nährstoffe in der Mehrzahl der Fälle des strömenden Wasserdampfes. Diese Methode kommt namentlich zum Sterilisieren von Flüssigkeiten und gelatinierenden Nährsubstraten in Anwendung.

Zur Sterilisation im strömenden Dampf bedient man sich in den bakteriologischen Laboratorien des Kochschen Dampfkochtopfs, dessen Prinzip Fig. 24 wiedergibt:

Ein Blechcylinder mit oberem, abnehmbarem Deckel ist aussen mit Filz umkleidet; von dieser Filzumkleidung ist nur das untere Drittel frei, das als Wasserbehälter dient und mit einem Kupferboden und einem Wasserstandsrohr versehen ist. Der Deckel schliesst

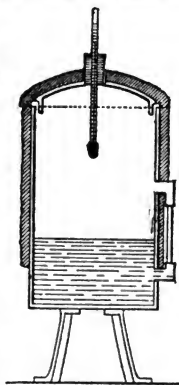


Fig. 24.

nicht hermetisch, ist vielmehr so aufgesetzt, dass Wasserdämpfe an den Rändern entweichen können; die Mitte des Deckels trägt ein Thermometer.

Vor Beginn der Sterilisation wird das untere Drittel des Apparates mit Wasser gefüllt; in einiger Entfernung darüber sitzt ein Rost, auf den man die zu sterilisierenden Objekte stellt. Nachdem der Deckel aufgesetzt ist, bringt man eine Heizflamme unter den Boden des Apparates; die Sterilisationszeit zählt von dem Moment, wo der Dampf am Deckel in kräftigem Strahl ausströmt, also das Thermometer im Innern 100° C. zeigt ¹⁾.

Von diesem Zeitpunkte an gerechnet bleiben die zu sterilisierenden Substrate $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ Stunde im strömenden Dampf. Manche Stoffe leiden jedoch von einer so langen Erhitzung, und bei solchen ist es empfehlenswerter, 3 Tage hinter einander je 10 Minuten im Dampfkochtopf auf 100° zu erhitzen und in der Zwischenzeit die Nährmedien wieder auf gewöhnliche Temperatur abkühlen zu lassen. Die Wirkung dieser wiederholten, sogenannten diskontinuierlichen Sterilisation beruht darauf, dass bei der kurzen Erhitzung jedesmal die vollentwickelten (vegetativen) Formen der Mikroorganismen abgetötet werden, während die widerstandsfähigen Dauerformen bis zum nächsten (oder übernächsten) Tage zu vegetativen Formen auskeimen und dann als solche ebenfalls der Vernichtung anheimfallen.

Für die mykologische Luftuntersuchung kommen als Nährsubstrate hauptsächlich die Nährbouillon und die daraus bereitete Kochsche Nährgelatine in Betracht.

Nährbouillon²⁾: 500 g gehacktes mageres Rindfleisch werden mit 1200 g destillierten Wassers übergossen, 3 Stunden lang (in einem Emailblechtopf) stehen gelassen und dann über freiem Feuer 1 Stunde gekocht. Die Menge des zugesetzten Wassers soll eigentlich 1000 ccm (1 Teil Fleisch mit 2 Teilen Wasser) betragen; die 200 ccm mehr entsprechen der beim Kochen verdampfenden Wassermenge. Die gekochte Bouillon wird durch ein doppeltes Faltenfilter filtriert; dieses muss gut angefeuchtet sein, damit es sämtliches Fett zurückhält.

Um aus dieser klaren Bouillon Nährbouillon zu bereiten, setzt man 1 % Fleischpepton und 0,5 % Kochsalz zu, erhitzt bis fast zum

1) Es ist nach Seite 46 selbstverständlich, dass die Temperatur von 100° C. im Innern des Dampfkochtopfes nur bei 760 mm Druck erreicht wird; bei niedrigerem Barometerstand liegt der Siedepunkt unter 100° C.

2) Die Methoden sind in einer durch langjährige Erfahrung bewährten Form aufgeführt.

Sieden, versetzt mit Sodalösung bis zur schwach alkalischen Reaktion, kocht auf und filtriert.

Die so bereitete Nährbouillon wird in sterilisierte Glaskolben mit Watteverschluss ¹⁾ übergefüllt und $\frac{3}{4}$ —1 Stunde im Dampfkochtopf sterilisiert.

Nährgelatine: Zur Bereitung der Nährgelatine benutzt man die nach obigem Verfahren dargestellte Bouillon vor der Neutralisation. Dagegen werden auch hier 1 % Pepton und 0,5 % Kochsalz zugesetzt und ausserdem schliesslich 5—10 % reinste Gelatine in zerschnittenen Blättchen ²⁾. Mit diesen Zusätzen lässt man die Bouillon etwa 1 Stunde unter häufigem Umschütteln stehen und erwärmt sie dann ganz langsam im Dampfkochtopf, bis die Gelatine gelöst und die Flüssigkeit bis fast auf 100° C. erwärmt ist. Nun muss auch die Nährgelatine mit Sodalösung neutralisiert werden; diese Operation muss hier wie bei der Nährbouillon sehr sorgfältig geschehen, da viele Bakterienarten gegen die geringste Spur Säure (aber auch gegen einen stärkeren Alkaliüberschuss) sehr empfindlich sind. Die erforderliche Reaktion ist genau neutral oder schwach alkalisch. Um die Reaktion zu prüfen, entnimmt man während des Sodazusatzes mit einem Glasstabe Tropfen, die man auf empfindliches Lackmuspapier wirken lässt, und zwar muss man die Prüfung stets gleichzeitig und neben einander mit rotem und mit blauem Lackmuspapier anstellen. Nach der Neutralisation kommt die Nährgelatine nochmals für $\frac{1}{2}$ Stunde in den Dampfkochtopf, bis die Pektinstoffe ausgefällt sind ³⁾. Die nun fertige Nährgelatine wird schliesslich durch einen Heisswassertrichter ⁴⁾ filtriert und in sterilisierten Kolben aufbewahrt oder in Mengen von je 5—10 ccm

1) Auch der Wattepfropf der Kolben muss vorher mit diesen zusammen sterilisiert sein. Beim Einfüllen der Nährsubstrate achte man darauf, dass der Wattepfropf nicht benetzt wird.

2) Der Gehalt an Gelatine ist verschieden. Die besten Resultate hat man im allgemeinen mit 5proz. Nährgelatine, jedoch wird diese schon bei niedriger Temperatur flüssig, sodass man namentlich im Sommer mehr Gelatine zusetzen muss.

3) Man darf nicht verabsäumen, nach diesem wiederholten Erhitzen nochmals die Reaktion der Nährgelatine zu prüfen und, wenn nötig, noch etwas Sodalösung zuzusetzen. Es kommt nämlich nicht selten vor, dass die Nährgelatine nachträglich noch eine etwas saure Reaktion annimmt.

4) Beim Heisswassertrichter ist der eigentliche Glastrichter von einem doppelten Metallmantel umgeben. Zwischen den Metallwandungen befindet sich Wasser, welches von aussen durch eine Heizvorrichtung warm gehalten wird und das im Glastrichter steckende Filter mit Nährgelatine ebenfalls erwärmt. So verhütet man es, dass die Nährgelatine während des Durchlaufens erstarrt und das Filter verstopft.

in sterilisierte, mit Watte verschlossene Reagiergläser abgefüllt. Die gefüllten Gläser (und Kolben) werden an drei aufeinander folgenden Tagen je $\frac{1}{4}$ Stunde lang im strömenden Dampfe erhitzt und so sicher keimfrei gemacht.

Die Nährgelatine wird bei ca. 22—25° C. (je nach dem Zusatze der Gelatine) weich, sodass sie nur bei darunter liegenden Temperaturen als „fester Nährboden“ verwendbar ist.

Wie schon gesagt wurde, ermöglichen allein die Kulturmethoden einen Rückschluss auf die Menge der in der Luft vorhandenen entwicklungsfähigen Keime. Bei der Züchtung nämlich vermehrt sich jeder lebende Keim und bildet für sich zahllose Individuen, die ohne besondere Schwierigkeit beobachtet werden können und unter gewissen Umständen und Kautelen gleichzeitig eine Antwort auf die Frage geben, wieviel Keime ursprünglich vorhanden waren.

Von den mykologischen Luftuntersuchungsmethoden, die mit flüssigen Nährsubstraten arbeiten, ist am verbreitetsten das Verfahren von Miquel¹⁾:



Fig. 25.

Der von Miquel benutzte Apparat ist in Fig. 25 wiedergegeben. Er besteht aus einem Glaskolben, dessen langer Hals oben mit einer aufgeschliffenen Kappe bedeckt wird, die in eine Röhre A ausläuft. Nach unten verlängert sich der Hals, spitz zulaufend, bis zu dem Boden des Gefäßes, wo er in einer kapillaren Öffnung endet, durch welche die Luft beim Durchsaugen eintritt. Weiter besitzt der Kolben zwei seitliche Röhren: Die erste C, mit zwei Wappfropfen versehen, wird durch einen Gummischlauch

mit dem Aspirator verbunden; die zweite, abwärts gebogene Röhre B trägt einen kurzen Kautschukschlauch, der durch eine dünn ausgezogene, vorn zugeschmolzene Glasröhre verschlossen ist.

Man giesst in den Apparat 30—40 ccm destillierten Wassers ein und versieht die Röhre A mit einem, die Röhre C mit zwei steri-

1) P. Miquel, *Les organismes vivants de l'atmosphère*. Paris 1883. Gauthier-Villars. — Ferner: *Annuaire de l'observatoire de Montsouris*. Verschiedene Jahrgänge. — *Die Mikroorganismen der Luft*; von P. Miquel. Übersetzt von E. Emmerich. München 1889.

lisierten und trockenen Wattepfropfen. Dann wird der Apparat 2 Stunden lang in einem Papinschen Topf¹⁾ auf 110° C. erhitzt und so sterilisiert. Nach Abkühlung verbindet man die Röhre *C* mit dem Aspirator, senkt die Kappe *A* in einer Flamme ab (um sie zu sterilisieren), hebt sie vom Kolben ab und bewahrt sie in einem sterilisierten Reagenzglas unter Watteverschluss auf. Nun wird die zu untersuchende Luft, Blase um Blase, durch den Apparat geleitet. Ist die Aspiration beendet, so wird die Kappe, nachdem sie durch nochmaliges Erhitzen in einer Flamme sterilisiert ist, wieder auf den Kolbenhals aufgesetzt. Nunmehr bläst man durch den Gummischlauch in die Röhre *C*²⁾, bis die Flüssigkeit im Innern bis zur Mündung des Kolbenhalses emporgestiegen ist und lässt dann die Wassersäule durch ihr eigenes Gewicht oder durch leichtes Saugen zurücksinken. Wiederholt man dieses Verfahren 10—12mal, so gelangen alle an der Wandung hängen gebliebenen Keime in die Flüssigkeit, während der Wattepfropf in der Kappe *A* das Eindringen neuer Keime aus der Luft verhindert. Nachdem man schliesslich die Spitze *B* durch kurzes Erhitzen in der Flamme sterilisiert hat, bricht man diese Spitze mit einer geglühten Pinzette oder Schere ab und verteilt das infizierte Wasser des Kolbens in 30—40 Proben sterilisierter Nährbouillon (vgl. Seite 212 f.). Dabei muss das Volumen der durchzusaugenden Luft so bemessen sein, dass mindestens $\frac{3}{4}$ der so behandelten Nährbouillonproben klar bleiben³⁾; die Bouillonproben befinden sich für den genannten Zweck in sterilisierten, mit Watte verschlossenen Reagiergläsern oder kleinen Kölbchen.

Ist der Versuchskolben entleert, so bringt man 25 ccm sterilisierter Nährbouillon hinein und schiebt mittels geglühten Platindrahtes den innern Wattepfropf der Röhre *C* (durch den die Luft filtriert wurde, ehe sie den Apparat verliess) in die Bouillon.

Aus der Anzahl der getrübbten Nährbouillonröhrchen ergibt sich ohne weiteres die Anzahl der im ausgesetzten Wasser, also im durchgesaugten Luftvolumen, enthaltenen Keime. Trübten sich beispielsweise von 36 ausgesetzten Bouillonproben 6, und waren 3 l Luft durchgesaugt, so enthält die untersuchte Luft in jedem Liter 2 Keime. Da nämlich von den 36 ausgesetzten Proben in dem Bei-

1) In dem Papinschen Topf erfolgt die Sterilisation unter Druck; man kann sie übrigens auch im strömenden Wasserdampf erreichen, wenn man die Erhitzung 3 Tage hintereinander vornimmt.

2) Die beiden Wattepfropfen in der Röhre *C* verhindern es, dass Keime beim Blasen mit in den Kolben gelangen.

3) Sind mit der Wasserprobe entwicklungsfähige Keime in die Nährbouillon gelangt, so trübt sich diese bei mehrtägigem Stehen durch die massenhafte Vermehrung der Keime.

spiele 30 klar, also keimfrei geblieben sind, so lässt sich mit grosser Wahrscheinlichkeit schliessen, dass in jedes der übrigen 6 Röhren nur je 1 Keim gelangt ist. Ein solcher Schluss ist aber nur statthaft, falls weit mehr Röhren ungetrübt als getrübt sind; deshalb ist eben das Resultat nur annehmbar, wenn höchstens $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$ der Bouillonröhren Keimentwicklung aufweisen. Der innere Wattepfropf in C, durch den die Luft schliesslich hindurchgeht, nachdem sie das Wasser passiert hat, enthält nur selten Keime von Mikroorganismen. Nach Miquel kommt es bei sorgfältig ausgeführten Untersuchungen unter 100 Analysen 25—30mal vor. In diesem Falle tritt eine Trübung der 25 ccm Nährbouillon im Versuchskolben ein, und die Zählung ist dann ungenau.

Viele Mängel und Unbequemlichkeiten des Miquelschen Kolbens vermeidet eine besondere Absorptionsröhre, die Emmerich¹⁾ angegeben hat, und die auch das Wattefilter überflüssig macht. In dieser Absorptionsröhre muss die durch eine sehr feine Spitze in Bläschen eintretende Luft das Absorptionswasser in vielfachen Windungen passieren und giebt dabei sicher alle Keime an das Versuchswasser ab.

Alle diese mykologischen Untersuchungsmethoden mit flüssigen Nährböden bringen ausserordentliche Unbequemlichkeiten mit sich. Dabei ist ungeachtet aller Schwierigkeiten und Umständlichkeiten keine Sicherheit hinsichtlich der Resultate geboten. Von ausserordentlich weittragender Bedeutung ist nun die Einführung der durchsichtigen festen Nährböden in die Kulturtechnik gewesen, und die genialen Methoden R. Kochs haben es erst möglich gemacht, auf leichte und bequeme Weise quantitative und qualitative Untersuchungen über Mikroorganismen anzustellen und dieselben auch auf die Luftkeime auszudehnen.

Feste Nährmaterialien wurden ja schon vor Koch benutzt, so z. B. gekochte Kartoffelscheiben, auf denen sich die aus der Luft auffallenden Keime vermehrten und „Kolonien“ ihrer Art bildeten. Der Vorteil der festen Nährböden liegt eben darin, dass jeder Keim an der Stelle verharren muss, wohin er fällt, dass er sich dort zu einer Kolonie entwickeln muss, ohne die Möglichkeit zu haben, sich mit andern Keimen zu vermengen, die auf andere Stellen des Nährmaterials aufgefallen sind. Sind also nicht allzuviel Keime vorhanden, so kann man nach mehrtägiger Entwicklung aus der Zahl der gewachsenen, mit blossem Auge erkennbaren Kolonien direkt die Menge der auf den Nährboden gefallenen lebensfähigen Keime fest-

1) Arch. f. Hygiene, I. 169.

stellen. Aber diese festen, undurchsichtigen Nährböden boten doch auch wieder viele Nachteile; erstens sagten sie nur einer beschränkten Anzahl von Mikroorganismen und namentlich sehr wenigen Bakterien zu, und zweitens fehlte ihnen eben die für feinere (namentlich mikroskopische) Untersuchungen so wichtige Eigenschaft der Durchsichtigkeit.

Die Nährgelatine, deren Herstellung auf Seite 213 beschrieben ist, verbindet auf das glücklichste die Vorzüge der flüssigen durchsichtigen mit denen der festen Nährsubstrate. Denn ihre Vorteile sind damit nicht erschöpft, dass sie gleichzeitig fest und durchsichtig ist, sondern sie lässt sich auch bei einer noch unter 30° C. liegenden Temperatur verflüssigen und in diesem Zustande mit dem keimhaltigen Material auf das innigste vermischen. Bringt man sie danach durch Abkühlung zum Erstarren, so wachsen die einzelnen Keime wieder — wie auf allen festen Nährböden — in getrennten Kolonien, aber es ist hier die ganze Masse des Nährbodens für den Kulturzweck nutzbar gemacht, während sonst (z. B. bei Kartoffelscheiben) hierfür nur die Oberfläche verfügbar ist. Man hat es gleichzeitig in der Hand, die verflüssigte Gelatine in eine Form zu bringen, die — nach dem Erstarren — der Isolierung, Betrachtung und Zählung der zur Entwicklung gelangenden Kolonien besonders förderlich ist.

Aus diesen Gründen lässt sich nicht recht begreifen, wie ein sonst verdienter Forscher wie Miquel so zähe an seiner Methode und der alten, von Pasteur eingeführten Kultivierung der Mikroorganismen in Nährbouillon festhalten kann. Dass er auch in Frankreich mit dieser Ansicht keineswegs allgemeine Unterstützung findet, geht aus dem schönen Werke Cornil et Babes „Les Bactéries“ hervor; genannte Forscher empfehlen gerade für die Zwecke der Luftanalyse die mit festen Nährböden arbeitenden Methoden.

Ehe wir auf diese eingehen, sei nur erwähnt, dass die Nährgelatine keineswegs das einzige feste und durchsichtige Nährmittel ist. Aber die Nährgelatine ist das am meisten gebrauchte, am bequemsten zu verwendende, dabei der Mehrzahl der Mikroorganismen zusagende Nährmedium, und jedenfalls dasjenige, welches für die besonderen Zwecke der mykologischen Luftuntersuchung beinahe ausschliesslich benutzt wird.

Koch¹⁾ selbst goss Nährgelatine auf wagerecht liegende, sterilisierte Glasplatten aus und liess die Gelatine so in dünner Schicht

1) Zusammenstellungen der Verfahren zur Mengenbestimmung der Luftkeime finden sich u. a. bei Petri, Zeitschr. f. Hygiene, III. 1; Weiz, Zeitschr. f. Hygiene, XI. 121; Hueppe, Method. d. Bakterienforschung

auf der Platte erstarren. Diese „Gelatineplatten“ wurden für eine bestimmte Zeit offen hingelegt und dann in feucht gehaltenen, verdeckten Schalen (also vor weiteren Keimen geschützt) aufbewahrt. Nach einigen Tagen wurden die Platten herausgenommen und die darauf zur Entwicklung gelangten Kolonien gezählt. Es ist klar, dass sich mit Sicherheit Schlüsse auf den Keimgehalt der Luft aus den Resultaten dieser Methode nicht ziehen lassen, denn die Zahl der aufgefundenen Keime muss in erster Linie von der Stärke der Luftbewegung, also von den Vertikal- und Horizontalströmungen abhängen.

Alle neueren Methoden zur Mengenbestimmung der Luftkeime saugen deshalb die Luft mit bestimmter Geschwindigkeit durch geeignete Apparate, in denen die Keime teils selbst kultiviert und beobachtet werden, teils von einem Absorptionsmittel aufgenommen und durch die Vermittlung des letzteren später mit den Kulturmedien gemischt werden. So ist es z. B. klar, dass man die Miquelsche Methode ohne weiteres auf Nährgelatine anwenden kann. Man mischt dann eben nach beendeter Aspiration bestimmte Teilmengen des Absorptionswassers mit verflüssigter Nährgelatine¹⁾, giesst diese zu Gelatineplatten aus und beobachtet die Entwicklung der Kolonien auf letzteren. Wenn man 3 Gelatineröhrchen infiziert, und zwar mit verschiedenen Mengen des Absorptionswassers, so wird man jedem möglichen Bakteriengehalt der Luft gegenüber gerüstet sein, d. h. auf einer der 3 Platten werden die Keime — sachentsprechende Aussaatmengen überhaupt vorausgesetzt — sicher in übersichtlicher und leicht zählbarer Menge vorliegen. Man kann dann aus dem Verhältnis zwischen der Aussaatmenge und der Gesamtquantität des Absorptionswassers die Keimzahl des durchgesaugten Luftvolumens berechnen.

Als allgemeine Bedingungen für die Gewinnung möglichst zuverlässiger Ergebnisse bei der Mengenbestimmung der Luftkeime lassen sich nach Heim²⁾ nennen: „Ansaugung genügender Mengen von Luft unter Vermeidung zu rascher Strömung; Verwendung geeigneter, und zwar fester Nährböden in einer Form, die gleichzeitig eine Artbestimmung zulässt; nicht zu kurze Beobachtung der angelegten, bei geeigneter Wärme und geschützt vor anderweitigen Verunreinigungen aufbewahrten Kulturen“.

und Hamburger, Über die Art und Weise des Überganges von Bakterien in die Luft. Inaug.-Diss. Breslau 1892.

1) Bei der Aussaat in verflüssigte Nährgelatine hat man darauf zu achten, dass diese unter 40° C. warm bleibt, weil die Keime bei höherer Temperatur ihre Entwicklungsfähigkeit einbüßen könnten.

2) Heim, Lehrbuch der Bakteriologie. II. Aufl. 1898.

Besondere Sorgfalt hat dem Auffinden einer verwendbaren Methode Hesse¹⁾ gewidmet. Nachdem er sich ursprünglich damit begnügt hatte, mittels eines Tropfenaspirators die Luft durch ein Glasröhrchen zu leiten und Wattebüsche, die er in dieses hineingebracht hatte, vor und nach dem Durchleiten zu wiegen, lehrte er folgendes Verfahren, das trotz mancher Mängel eines der besten überhaupt ist:

Der Hessesche Apparat ist in Fig. 26 dargestellt. Die Ansaugung der Luft geschieht dabei durch zwei, abwechselnd hoch und

und tief gestellte, genügend grosse (ca. 5 l) Saugflaschen. Beide sind mit doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen, durch die in bekannter und aus der Figur ersichtlicher Anordnung je ein kurzes und ein verlängertes Glasrohr führt.

Die beiden langen Rohre verbindet ein Gummischlauch, der durch einen Schraubenquetschhahn mehr oder weniger verschlossen werden kann. Das Wasser befindet sich in der oben hängenden Flasche; bei geöffnetem Quetschhahn fliesst es in die untere, wobei ein dem abfliessenden Wasser gleiches Luftvolumen durch die horizontale Untersuchungsröhre nachgesaugt wird. Die Geschwindigkeit soll durch den Quetschhahn so reguliert werden, dass höchstens $\frac{1}{2}$ l Luft in der Minute aspiriert wird. Ist die untere Flasche fast voll, so unterbricht man den Strom, wechselt den Stand beider Flaschen, schaltet den vom Untersuchungsrohr kommenden Gummischlauch an die jetzt oben hängende, volle Flasche an und aspiriert von neuem²⁾. Eine Wägung des bei einer Flaschenfüllung ab-



Fig. 26.

gesaugt wird. Die Geschwindigkeit soll durch den Quetschhahn so reguliert werden, dass höchstens $\frac{1}{2}$ l Luft in der Minute aspiriert wird. Ist die untere Flasche fast voll, so unterbricht man den Strom, wechselt den Stand beider Flaschen, schaltet den vom Untersuchungsrohr kommenden Gummischlauch an die jetzt oben hängende, volle Flasche an und aspiriert von neuem²⁾. Eine Wägung des bei einer Flaschenfüllung ab-

1) Mitteil. d. Kaiserl. Gesundheitsamtes, II. 182.

2) Von einzelnen Fabrikanten werden derartige Aspirationsapparate

laufenden Wassers unterrichtet ein für alle mal über das bei jeder Aspiration durchgesaugte Luftquantum.

Das horizontale Untersuchungsrohr ist eine widerstandsfähige (hitzebeständige) Glasröhre von 70 cm Länge und 3,5 cm Durchmesser. Das eine Ende der Röhre wird mit einem Gummipropf verschlossen, in dessen Durchbohrung ein 10 cm langes Glasrohr sitzt. Dieses Rohr, in dem zwei Wattebüsche stecken, ist durch den schon erwähnten Gummischlauch mit der Aspirationsvorrichtung verbunden. Das andere Ende des weiten Untersuchungsrohres ist mit einer fest schliessenden Gummikappe versehen, die einen zentralen, kreisrunden Ausschnitt von $\frac{1}{2}$ cm Durchmesser hat. Ueber diese Gummikappe zieht man eine zweite, ebensolche, aber nicht durchlochte Kappe; letztere wird während der Dauer des eigentlichen Versuchs abgenommen.

Unbequem ist die Sterilisation dieses langen Rohres; gewöhnlich wird für diesen Zweck den Dampfkochtöpfen (Fig. 24 Seite 211) ein hoher Aufsatz aus filzumkleidetem Blech beigegeben.

Das Untersuchungsrohr wird zuerst mit den Verschlüssen eine Stunde im strömenden Dampf sterilisiert; dann füllt man 70 ccm sterilisierter Nährgelatine ein und setzt das Rohr mit Inhalt verschlossen nochmals eine Stunde im Dampfkochtopf der Siedehitze aus ¹⁾. Nachdem sich die Röhre etwas abgekühlt hat, hält man sie horizontal in den Strahl der Wasserleitung und lässt sie dabei schnell um ihre Achse rotieren. Sobald die Gelatine ganz zähflüssig wird, hört man mit dem Drehen auf und lässt das Rohr horizontal liegen. Es ist selbstverständlich, dass während aller dieser Manipulationen das Rohr gut verschlossen sein muss; es ist also auch die äussere Gummikappe überzuziehen. Nach dem Erstarren der Gelatine ist die ganze Innenfläche des Rohres mit einer dünnen Gelatineschicht ausgekleidet, während der Boden mit einer dickeren Schicht bedeckt ist.

So vorbereitet kommt das Rohr auf das Stativ (in die gezeichnete Lage). Bei Beginn des Versuchs nimmt man die äussere

mit der Verbesserung geliefert, dass man nur den Stand der Flaschen zu wechseln hat, während die Umschaltung des Gummischlauches durch die Drehung eines Vierweghahnes ersetzt ist.

1) Hat man keinen Aufsatz zum Dampfkochtopf, so kann man sich, wie folgt, helfen: Man macht das noch leere Rohr durch gründliche Reinigung, Spülung mit Schwefelsäure, sterilisiertem Wasser, Alkohol und Äther keimfrei und trocken. Inzwischen hat man die Gummiverschlüsse im Dampf sterilisiert, setzt sie auf und füllt die 70 ccm sterilisierter Nährgelatine ein. Hat man sorgfältig gearbeitet, so ist nochmalige Sterilisation nicht nötig; es bleibt nur übrig, den Inhalt der Röhre in angegebener Weise unter einem Wasserstrahl zum Erstarren zu bringen.

zontalen Glasrohres 2 oder 3 fest verbundene Glaskugeln getreten. Pawlowsky¹⁾ benutzt ein Glasrohr, das sich von dem Hesseschen dadurch unterscheidet, dass es an 4 Stellen in einem Winkel von 45° geknickt ist.

Die Methode von Hesse gestattet nur eine geringe Aspirationsgeschwindigkeit; sie kann deswegen entweder nur mit kleinen Luftmengen arbeiten (und daher ungenaue Resultate geben), oder ihre Ausführung bedarf einer langen Zeit, und dann haben ihre Resultate nur die Bedeutung von Durchschnittswerten. Alle diese Mängel vermeidet die Methode von Petri²⁾:

Feiner Sand von 0,25 (bis 0,5) mm Korngrösse wird sorgfältig ausgeglüht. Dann bringt man in die Mitte einer 8—10 cm langen Glasröhre von Reagenzglasdicke zwei kleine Drahtnetzkappen d_2, d_3 (Fig. 27), die streng in das Rohr hineinpassen; das gewählte Draht-



Fig. 27.

netz muss äusserst feinstmaschig sein, jedenfalls in der Maschenweite kleiner als der Durchmesser der Sandkörner. Der entsprechend der Röhrenwandung umgebogene Rand der Drahtnetzkappe muss der Wandung fest anliegen. Auf jedes dieser Drahtnäpfchen wird eine 3 cm lange Sandschicht gebracht; nach aussen sind diese Sandschichten durch zwei Drahtnetzkappen d_1 und d_4 abgeschlossen, die den mittleren Kappen ganz gleich sind. Von den beiden so hergestellten Sandfiltern S_1 und S_2 dient das zweite nur zur Kontrolle der Absorptionsfähigkeit des ersten; das zweite Filter muss ganz keimfrei bleiben, während im ersten alle Keime aus der durchgesaugten Luft zurückgehalten werden sollen.

Nach Fertigstellung der Sandfilter werden die beiden Öffnungen des Glasrohres möglichst fest mit Wattepfropfen verschlossen, worauf man die Vorrichtung im Trockenschrank bei 160° C. sterilisiert. Solche Absorptionsröhren können in sterilisiertem Zustande vorrätig gehalten werden.

Beim Versuch entfernt man die Watteverschlüsse und verbindet das eine Ende des Röhrchens durch den von einem Bleirohr durchbohrten Kautschukpfropf P mit der Aspirationspumpe. Der Pfropf mit Bleirohr lag vorher in 1/100 Sublimatlösung und wurde dann mit sterilisiertem Filtrierpapier getrocknet.

1) Berl. klin. Wochenschr. 1885, Nr. 21.

2) Zeitschr. f. Hygiene, III. 1.

Die Aspiration soll nicht schneller geschehen, als dass der Transport von 10 l Luft durch den Apparat 1 bis 2 Minuten erfordert. Die Geschwindigkeit des Luftstromes im Sandfilter soll 0,7 m in der Sekunde nicht übersteigen. Im ganzen werden 100—200 l Luft durchgesaugt.

Nach Beendigung des Versuches sterilisiert man die Mündungen des Röhrchens durch flüchtiges Absengen in der Flamme, zieht dann die äusseren Drahtnetze mit einem durch Erhitzen sterilisierten Metallhaken heraus und verteilt den Sand in mehrere flache sterilisierte Doppelschalen¹⁾ von ca. 9 cm Durchmesser. In diese Schälchen gießt man dann verflüssigte (schwach erwärmte) Nährgelatine, verteilt durch Hin- und Herbewegen den Sand in der Gelatine möglichst gleichmässig und bringt letztere dann durch Kühlstellen schnell zum Erstarren²⁾. Beim Einschütten des Sandes und beim Eingiessen der Nährgelatine in die Doppelschälchen muss man schnell operieren und den Deckel nicht länger als unbedingt nötig öffnen, weil sonst dabei leicht noch andere Keime hineingelangen.

Hat man den Sand auf entsprechend viel Kulturschalen verteilt, so entwickeln sich in der Gelatine isolierte Kolonien, die gezählt und weiter untersucht werden können. Die Gelatine, die Sand vom Filter S_2 enthält, darf gar keine Entwicklung zeigen. —

Als Aspirator benutzte Petri eine ziemlich kostspielige Luftpumpe; dieser Umstand war natürlich der weiten Verbreitung des Verfahrens recht hinderlich. Ein anderer Fehler der Methode besteht darin, dass der undurchsichtige Sand, der der Nährgelatine beigemischt wird, die Beobachtung der Kolonien und ihre Zählung ausserordentlich erschwert. Beide Übelstände beseitigt eine von M. Ficker³⁾ angegebene Modifikation:

Derselbe ersetzt die unhandliche Luftpumpe durch einen spindelförmigen Gummiballon (mit sehr gut schliessendem Ventil), der bei jedem Hub genau $\frac{1}{2}$ l Luft ansaugt und gewöhnlich 100mal (4—8mal in der Minute) gedrückt wird; es werden also 50 l Luft durchgesaugt. Als Filtermaterial benutzt Ficker statt des undurchsichtigen Sandes farblose Glasperlen von Erbsengrösse, die

1) Diese flachen Doppelschalen sind ein guter Ersatz für die früher üblichen Glasplatten. Der übergreifende Deckel dieser Schalen sitzt nur lose (nicht luftdicht) auf; dennoch verhindert es die Schwere der Keime, dass die in das Innere der Schale zirkulierende Luft Keime mit emporwirbelt und hineinführt.

2) Nur zum Zweck des schnellen Erstarrens sind die Kulturschalen kalt zu stellen; danach müssen sie andauernd bei gewöhnlicher Zimmertemperatur (ca. 18—20° C.) gehalten werden, weil bei niedrigerer Temperatur viele Bakterien nicht wachsen.

3) Zeitschr. f. Hygiene, XXII. 33.

geglüht und heiss in kaltes Wasser geworfen werden. Durch dieses Verfahren werden sie brüchig, sodass sie nach dem Trocknen leicht im Mörser zerstoßen werden können. Von diesem Glaspulver werden der 0,25 mm und der 0,5 mm dicke Anteil abgesiebt und verwendet: $\frac{3}{4}$ Raumteile des Rückstandes vom 0,5 mm Sieb werden mit $\frac{1}{4}$ Raumteil des Restes vom 0,25 mm Sieb vermengt und das Gemisch anstatt des Sandes zur Herstellung der beiden Filter in der Röhre Fig. 27 verwendet. Nach dem Durchsaugen wird der Inhalt des Auffangfilters (S_1) auf 8, der des Kontrollfilters (S_2) auf 4 Platten mit Nährmaterial verteilt. Übrigens hat Ficker auch eine Modifikation der Filterröhre vorgeschlagen; diese ist nämlich bei ihm nicht parallelwandig, sondern besitzt hinter der Einströmungsöffnung eine bauchige Erweiterung, in die eine kurze, weite Glasröhre von aussen hineinragt; so wird der Luftstrom gezwungen, durch die Mitte des Filters zu streichen.

In neuerer Zeit sind verschiedene Methoden angegeben worden, die in gewisser Hinsicht einer früher von Pasteur angegebenen ähneln. Es wird nämlich dabei die Luft durch eine Flüssigkeit hindurchgesaugt, die an sich ein Nährmedium ist und daher direkt zur Kultur der Keime dienen kann. Der Unterschied von der Pasteur-Miquelschen Methode besteht darin, dass zur Absorption der Luftkeime nicht Bouillon, wie bei den französischen Forschern, sondern verflüssigte Nährgelatine dient, die nachher zum Erstarren gebracht wird. Dieses Prinzip benutzen (in verschiedener Ausführung) Strauss, v. Sehlen und Hueppe.

Man denke sich ein grösseres Reagierglas mit doppelt durchbohrtem Kautschukstopfen, das zur Hälfte mit Nährgelatine gefüllt ist. Durch den Kautschukpfropf geht eine lange Glasröhre fast bis zum Boden des Reagierglases, wo sie in einer kapillaren Spitze endet. Die andere Bohrung trägt ein kurzes Glasröhrchen, das unmittelbar unter dem Stopfen endet; nach aussen sind beide Röhren rechtwinklig umgebogen. Die ganze Vorrichtung wird im strömenden Dampf sterilisiert; dann wird (nachdem der Apparat auf etwa 35° abgekühlt ist) das kurze Ansatzrohr durch Gummischlauch mit einem Aspirator verbunden. Die aspirierte Luft steigt in feinen Blasen durch die Nährgelatine empor und giebt alle Keime an dieselbe ab. Nach Beendigung des Versuches kann man die Nährgelatine entweder in sterilisierte Doppelschalen ausgiessen und dort zum Erstarren bringen, oder man verschliesst das Reagierrohr fest, senkt es in horizontaler Lage in kaltes Wasser ein und hält es dort solange in beständiger Rotation, bis die Gelatine an den Gefässwandungen in gleichmässiger Schicht erstarrt ist. Dann nimmt man das Reagierglas heraus und

bewahrt es zur Kultur bei Zimmertemperatur auf. In einem solchen, sogenannten Esmarchschen Rollröhrchen lässt sich die Entwicklung der Kolonien gut verfolgen und auch ihre Zahl ohne Schwierigkeit feststellen¹⁾.

Alle Methoden, bei denen die Luft durch verflüssigte Nährgelatine hindurchgeleitet wird, erfordern es, dass man die Versuchsfässer während der Aspiration in lauwarmes Wasser stellt, damit nicht schon während des Versuches das Nährsubstrat erstarrt. Selbstverständlich muss die Temperatur der Nährgelatine während dieser Zeit immer noch unter 40° C. bleiben, weil sonst die Entwicklungsfähigkeit der Keime leidet.

Bisher war immer nur die Rede von der Mengenbestimmung der Luftkeime. Die Feststellung der Arten setzt eine genaue Beherrschung der Bakteriologie voraus und kann dementsprechend hier nicht behandelt werden. Will man Krankheitserreger in der Luft nachweisen, so darf man sich auch nicht auf Nährgelatine allein beschränken, sondern muss Nähragar, Blutserum u. s. w. mit als Nährsubstrat benutzen; auch den Tierversuch kann man in solchen Fällen nicht entbehren. Es ist überhaupt bisher nur selten gelungen, direkt Keime von krankheitserzeugenden Bakterien in der freien Luft aufzufinden, was einerseits an den Mängeln unserer Kulturmethoden, anderseits aber auch daran liegen mag, dass die pathogenen Keime gegenüber den unschädlichen Saprophyten bei weitem zurückstehen. (Vgl. Seite 36.)

Immerhin erlaubt die gewöhnliche Mengenbestimmung der Luftkeime ein Urteil über die „Reinheit“ der Luft und damit auch über die mehr oder minder grosse Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit schädlicher Mikroorganismen.

1) Zum Zählen der Kolonien in den Rollkulturen ist von Esmarch ein besonderer Apparat angegeben worden.

Die Einflüsse der Atmosphäre.

A. Luftwirkungen auf mineralische Stoffe.

Die Einwirkungen der Atmosphäre auf die Erdkruste sind von ausserordentlicher Bedeutung für die ganze Formation der Oberfläche unseres Planeten. Es kann nicht die Aufgabe des vorliegenden Buches sein, einen Abriss der Geologie zu geben, sondern wir wollen nur ganz kurz auf diejenigen geologischen Prozesse hinweisen, bei denen die Atmosphäre der ausschlaggebende Faktor ist.

Immerhin lässt es sich nicht umgehen, ein Streiflicht auf die Hypothesen der geologischen Wissenschaft zu werfen. Man unterscheidet in derselben mehrere Richtungen, namentlich die der Plutonisten und die der Neptunisten, von denen heute wieder die erstere, ältere mehr Anhänger zählt.

Die Plutonisten nehmen an, dass sich der Erdball früher in feurig-flüssigem Zustande befunden habe und dass er in diesen Zustand durch Verdichtung seiner Materie geraten sei. Infolgedessen, so schliessen sie weiter, sei die Erde auch jetzt noch im Innern ausserordentlich heiss und feurig-flüssig, und hieraus erkläre sich die stufenweise Temperaturerhöhung, die man in tiefen Bergwerken beobachtet. Dem ¹⁾ gegenüber stellten sich die neueren Neptunisten auf den rein empirischen Standpunkt ihrer geognostischen Erfahrung; sie zeigten, dass eine Reihe von geologischen Vorgängen, die von den Plutonisten aus ihrer Hypothese des feurig-flüssigen Zustandes erklärt, und zwar oft recht oberflächlich erklärt wurden, noch heute an der Erdoberfläche verlaufen, wo jene Bedingungen der Plutonisten gänzlich fehlen. Die Neptunisten erachteten es für möglich, dass wenigstens alle diejenigen geologischen Erscheinungen, deren sichtbaren Reste noch jetzt vor unseren Augen liegen, auf

1) Zum Teil nach dem vorzüglichen Werke A. Mayer, Lehrbuch der Agrikulturchemie, II. Teil, Die Bodenkunde. IV. Aufl. 1895.

diese einfache Weise erklärt werden könnten. Trotz aller Fehler in den Einzelschlüssen gebührt dem Neptunismus das Verdienst, durch aufmerksame Studien unser Wissen von den möglichen geologisch-chemischen Reaktionen ausserordentlich erweitert zu haben.

Für die Prozesse, welche sich aus der Einwirkung der Atmosphäre auf die Erdoberfläche herleiten, sind die Streitfragen der beiden genannten geologischen Richtungen belanglos; denn diese Streitfragen beziehen sich bekanntlich der Hauptsache nach nur auf die Entstehung der kristallinen, sogenannten plutonischen Gesteine.

Nach der herrschenden plutonischen Anschauung sind diese Gesteine, die man auch als Urgebirgsarten bezeichnet, die Überreste des feurig-flüssigen Zustandes der Erdkruste, und zwar durch Erstarrung der flüssigen Massen infolge der Ausstrahlung eines Teiles der Wärme entstanden. Folgt man den Konsequenzen dieser Hypothese, so muss man schliessen, dass bei jenem sehr heissen Zustand des Erdballes das Wasser, das heute das Weltmeer ausmacht, als hoch überhitzter Wasserdampf in der Atmosphäre schweben und einen ungeheuern Druck auf die flüssigen Gesteinsmassen ausüben musste. Dieser Druck musste es zur Folge haben, dass sich hoch erhitztes, flüssiges Wasser, vielleicht glühendes Wasser, mit jenen Gesteinsmassen mischte. Weiter ist zu folgern, dass dieses Wasser bei der langsam erfolgenden Erstarrung der Gesteine einen bedeutenden Einfluss ausgeübt haben muss. So kommt man bei konsequenter Durchführung der plutonischen Hypothese zu einer Vorstellung von dem Prozesse der Erdbildung, die nur sehr wenig oder garnicht von der Anschauung der Neptunisten abweicht.

Mayer sagt sehr richtig: „Es wären gewiss viele der Widersprüche zu heben, die in der Geologie über feurig-flüssige oder die wässrige Ausscheidung eines Gesteins bestanden haben und noch bestehen, wenn man sich immer wieder vergegenwärtigte, dass die gleichzeitige Anwesenheit beider verflüssigenden Prinzipien bei dem früheren Zustand der Erde möglich, ja sogar wahrscheinlich ist, während unsere Beobachtungen von heutzutage in der Natur wie im Laboratorium unter so niedrigen Pressionen angestellt sind, dass beide Prinzipien sich gegenseitig auszuschliessen scheinen, sich überall als entgegengesetzt gegenüberstehen und sogar die blosser Vorstellung von glühendem, flüssigem Wasser den Gedanken der Unmöglichkeit erweckt.“

Die atmosphärische Luft ist nicht nur die Bedingung des Lebens der Pflanzen und Tiere; sie ist nicht nur der Hauptfaktor bei der

Verwesung und Fäulnis der organischen Abfallstoffe, sondern sie vermittelt zugleich den ganzen Kreislauf der mineralischen Stoffe. Bei dieser Vermittlung ist sie teils direkt, teils indirekt thätig; direkt, indem einzelne ihrer Bestandteile Verbindungen mit Mineralkörpern eingehen, wodurch diese zersetzt, zum Teil löslich, zum anderen Teil unlöslich werden; indirekt dadurch, dass sie das verdunstende Wasser von den Meeren her in Form von Dampf und Wolken mit sich fortführt und über dem Festlande in den atmosphärischen Niederschlägen wieder ausscheidet; dort gelangt das Wasser in das Innere der Erde und greift als mächtiger Faktor in die Umformung und Umwälzung der unbelebten Welt ein.

Was¹⁾ die direkte²⁾ Beteiligung der Atmosphäre an dem Kreislauf der irdischen Stoffe betrifft, so sind daran in erster Linie drei Bestandteile der Luft beteiligt, nämlich Sauerstoff, Kohlendioxyd und Wasser, letzteres sowohl als Dampf, als in flüssiger Form (Nebel, Wolken).

Jeder dieser Stoffe kann von Mineralkörpern gebunden und so der Atmosphäre entzogen werden. Nach mehr oder weniger langer Vereinigung mit den Mineralkörpern und nach oft wechselvoller gemeinsamer Wanderung pflegen sich diese Stoffe wieder aus ihren Verbindungen zu lösen und in die Luft, der sie entstammen, zurückzukehren. So muss die Zusammensetzung der Atmosphäre beständigen Schwankungen unterliegen, weil für gewisse Zeiträume grosse Mengen ihrer Bestandteile an Mineralstoffe gebunden, also ihr selbst entzogen werden, während andere Mengen sich aus Verbindungen lösen und in die Atmosphäre zurückkehren. Trotzdem verursacht es die gewaltige Masse der Lufthülle, dass diese Schwankungen die Resultate der Luftanalyse kaum merkbar beeinflussen. Wenigstens gilt dies für den Sauerstoff und das Kohlendioxyd, von denen zu jeder Zeit etwa ebensoviel verbraucht als wieder erzeugt wird; die nie fehlenden Luftströmungen sorgen für eine gleichmässige Mischung, sodass nur unter ganz besonderen, ungewöhnlichen Verhältnissen eine Änderung des Gehaltes der freien Luft an Kohlendioxyd und noch mehr an Sauerstoff konstatiert werden kann. Nur hinsichtlich des Wassers sind grosse Schwankungen nachzuweisen und schon für unsere Sinne direkt erkennbar. Das liegt daran, dass ungeheuere Wassermassen in den Meeren auf der Erdoberfläche aufgespeichert sind, und dass mit den Wärme-

1) Teilweise unter Aulehnung an Credner, Elemente der Geologie, VIII. Aufl.

2) Die nur indirekt durch die Atmosphäre beeinflussten geologischen Prozesse müssen hier übergangen werden.

schwankungen grosse Wassermengen verdunsten und anderseits wieder ausgeschieden werden. Es ist also der Wassergehalt der Luft von rein mechanischen Einflüssen abhängig, während dies für Sauerstoff und Kohlendioxyd kaum zutrifft; diese beiden Gase werden hinsichtlich ihrer Menge in der Luft vornehmlich durch chemische Prozesse beeinflusst.

Die Thätigkeit des Sauerstoffs und des Kohlendioxyds lässt sich von der des Wassers nicht trennen, weil die genannten Gase in der Mehrzahl der Fälle nur dann chemisch umsetzend auf die Mineralstoffe wirken können, wenn gleichzeitig Feuchtigkeit vorhanden ist und die Aktion des Sauerstoffs und des Kohlendioxyds unterstützt.

Die atmosphärischen Niederschläge enthalten stets etwas Kohlendioxyd und etwas Luft in absorbiertem Zustand. So sind der Hauptsache nach drei Gase in den Meteorwässern vorhanden: Kohlendioxyd, Sauerstoff und Stickstoff, von denen die beiden erstgenannten die chemische Thätigkeit des Wassers, seine Zersetzungs- und Auflösungsfähigkeit mächtig begünstigen.

Dringen die Meteorwässer in Form des Sickerwassers in die Gesteine ein, so verlieren sie bald den Sauerstoff und das Kohlendioxyd, falls in den Gesteinen Körper vorhanden sind, die sich mit diesen Gasen verbinden können¹⁾. Der in den Niederschlägen absorbierte Stickstoff geht dagegen mit den mineralischen Körpern keine Verbindungen ein, sondern er wird bis zum Zutagetreten der Quellwässer in Absorption gehalten und kehrt dann wieder in die Atmosphäre zurück.

Die chemische Thätigkeit der Meteorwässer und der darin enthaltenen atmosphärischen Gase ist selbstverständlich verschieden nach der Zusammensetzung der beeinflussten Gesteine. Aber sie hängt auch weiter in bedeutendem Grade ab von den physikalischen Eigenschaften dieser Mineralstoffe, von dem mechanischen Gefüge u. s. w. Es ist z. B. klar, dass ein Gestein diesen Einflüssen um so mehr Widerstand entgegensetzen kann, je dichter es ist.

Im allgemeinen ist festzuhalten, dass keine einzige Gesteinsart dem einsickernden Wasser einen absoluten Widerstand zu leisten vermag; es giebt da weder eine vollkommene Undurchdringlichkeit,

1) Anderseits nimmt das Sickerwasser dabei auch Mineralsubstanzen auf, die darin entweder an und für sich oder durch Vermittlung des Kohlendioxydes löslich sind; hierdurch erlangt das Sickerwasser die Fähigkeit, weitere Zersetzungen oder Neubildungen zu veranlassen, wenn es weiter in die Tiefe dringt.

noch Unauflöslichkeit, noch auch Unzersetzbarkeit¹⁾. „Findet der Geologe ein Mineral in der diesem nicht zukommenden Kristallform eines anderen, nach unseren Erfahrungen unlöslichen Minerals — eine Pseudomorphose dieses letzteren —, so beweist dies trotz der anscheinenden Unlöslichkeit des letzteren, dass Gewässer das verdrängte Mineral im Laufe der Jahrtausende aufgelöst und weggeführt haben, oder dass mit Hilfe des Wassers eine langsame Umwandlung der Masse stattgefunden hat. Die Pseudomorphosen sind also Umwandlungsprodukte ursprünglicher Mineralkörper, wobei diese bald gewisse Bestandteile verloren, bald solche neu aufgenommen haben, oder wobei ein Austausch einzelner Bestandteile oder endlich eine gänzliche Verdrängung der einen Substanz durch eine andere stattgefunden hat.“ Bei allen diesen Umwandlungsprozessen wird das Sickerwasser durch seinen Gehalt an Kohlendioxyd ausschlaggebend unterstützt. Auch das Experiment hat gezeigt, dass es kaum irgend ein in kohlendioxydhaltigem Wasser absolut unlösliches oder unzersetzbares Mineral giebt, und dass namentlich alle an der Zusammensetzung der Erdkruste wesentlich beteiligten Mineralkörper diesen mechanischen und chemischen Einwirkungen des Sickerwassers auf die Dauer nicht widerstehen können.

Es sind der Hauptsache nach fünf Prozesse, die das mit Kohlendioxyd und Sauerstoff beladene Sickerwasser gegen die Mineralstoffe einleitet. Diese fünf Prozesse sind: 1. Auflösung, 2. Wasserbindung (Hydratbildung), 3. Oxydation (Sauerstoffbindung), 4. Reduktion (Sauerstoffentziehung) und 5. Karbonatbildung (Kohlensäurebindung).

Von der Auflösung werden an wichtigen Gesteinsarten hauptsächlich Steinsalz, Gips, Kalkstein und Dolomit betroffen.

Die Hydratbildung beobachtet man an Metalloxyden und an Silikaten; zumal eisenoxydreiche Mineralien sind der Hydratbildung unterworfen.

Oxydationen finden in erster Linie bei kohlen-sauren Metalloxyden (Karbonaten) und bei Schwefelmetallen statt.

1) Chemische Experimente beweisen nichts dagegen. Denn die Geologie rechnet mit ganz andern Mengen des Lösungs- und Zersetzungsmittels, als sie der Experimentator verwenden kann; sie hat ferner ungeheurere Zeiträume bei diesen Prozessen zu berücksichtigen — Zeiträume, wie sie kaum dem menschlichen Verständnis nahe gebracht werden können, geschweige denn dem Versuch zur Verfügung stehen.

Reduktionswirkungen des Sickerwassers sind wohl auf mitgeführte Zersetzungsprodukte verwesender organischer Substanzen zurückzuführen; ihre Betrachtung gehört daher nicht hierher.

Die Karbonatbildung ist der wichtigste der hier in Betracht kommenden Prozesse: Kohlensäurehaltige Wässer zersetzen die Silikate des Kaliums, Natriums, Calciums, Eisens und Mangans schon bei gewöhnlicher Temperatur derart, dass daraus Karbonate gebildet werden, während andererseits Kieselsäure frei wird. Von dieser Zersetzung werden in erster Linie die wichtigen und weitverbreiteten Gesteine Feldspat, Augit und Hornblende betroffen, die aus kieselsaurer Thonerde¹⁾ (oder kieselsaurer Magnesia) nebst Kali-, Natron-, Kalk-, Eisenoxydul- oder Manganoxydulsilikaten bestehen. Dabei entstehen Karbonate und zugleich wird Kieselsäure ausgeschieden, während die fast unlöslichen Silikate von Thonerde und Magnesia zurückbleiben.

Der geschilderte wichtige Prozess ist unter dem Namen Verwitterung allgemein bekannt. Durch ihn werden demnach alle Felsarten, welche unter ihren Gemengteilen zusammengesetzte Silikate (z. B. Feldspate, Glimmer, Hornblende oder Augit) enthalten, wie dieses gerade bei den am weitesten verbreiteten und am massigsten entwickelten Felsarten, z. B. Granit, Gneis, Glimmer- und Urthonschiefer, Porphyry, Basalt u. s. w., der Fall ist, in thonigen, lehmigen und mergeligen Erdboden umgewandelt. Die Verwitterung zerstört den Zusammenhang der oberflächlichen Felsschicht und zerschlägt diese erst in grobe, dann in feinere und immer feinere Stücke.

Im weiteren Sinne bezeichnet man alle durch das kohlendioxiddhaltige Meteorwasser eingeleiteten Umwandlungen der Mineralkörper als Verwitterung, und man kann über diesen bedeutenden Vorgang, der allein die Bildung der Ackerkrume veranlasst, folgendes Schema aufstellen, das wir Leunis²⁾ entnehmen: siehe Tabelle Seite 232.

Wir sehen, dass bei den Verwitterungsvorgängen auch lösliche Verbindungen gebildet werden; diese werden mit dem Sickerwasser weiter in das Erdinnere hinabgeführt und lösen dort nun ihrerseits Zersetzungs- und Bildungsprozesse aus. Wenn nun derartige weitere chemische Umwandlungen indirekt und in letzter Linie auch auf die Atmosphäre zurückzuführen sind, so glauben wir doch, dass

1) Aus Zweckmässigkeitsgründen ist hier und in der folgenden Tabelle die alte (früher übliche) chemische Nomenklatur beibehalten worden.

2) Leunis, „Oryktnosie und Geognosie“, bearbeitet von Senft.

Die kristallinen Felsarten
werden durch das Kohlendioxyd führende Meteorwasser

entweder ganz aufgelöst, so: der kohlensaure Kalk, der Dolomit, der Eisenspat. — Gips und Steinsalz aber werden schon durch Wasser allein aufgelöst. Bei der Verdunstung ihres Lösungswassers bilden sie entweder teils Stalaktiten, teils spätere Massen in den Höhlungen und Spalten der Erdrinne, oder auf dem Grunde der Gewässer derbe, massige Ablagerungen.

oder zersetzt und nur teilweise gelöst, so alle diejenigen Felsarten, welche zusammengesetzte Silikate (Felspat, Glimmer, Hornblende, Augit) enthalten. Sie also geben alle bei ihrer Witterung:

a. lösliche, kohlensaure Salze,
von denen

1. die Salze des Kali und Natron schon in reinem Wasser löslich sind und darum vom Wasser aus der Erdrinne ausgeföhrt u. den Fließwassern der Erdoberfläche zugeföhrt werden.

b. einen unlöslichen Rückstand, welcher vorherrschend aus einer thonigen, oft mit Eisenoxyd untermischten Substanz, welche das Hauptbildungsmittel aller Erdbodenarten darstellt, besteht.

2. die Salze der Kalk- und Baryterde, der Magnesia, des Eisen- und Manganoxyduls nur in kohlensaurem Wasser löslich sind und in den Erdrinnespalten die Gang- und Lagermassen bilden, aber auch auf der Erdoberfläche in Seebecken massige Ablagerungen darstellen.

dieselben — wie überhaupt die spezielle dynamische Geologie — zu weit von dem Rahmen dieses Buches abliegen, als dass sich ihre Besprechung rechtfertigen liesse.

Fasst man die Beteiligung der atmosphärischen Bestandteile an den wichtigen chemisch-geologischen Vorgängen zusammen, so ergibt sich:

1. Sauerstoff wird fortwährend der Luft entzogen.

Abgesehen von den nicht hierher gehörigen Prozessen der Atmung, der Fäulnis und Verbrennung organischer Körper, geschieht dies durch die Oxydation mineralischer Körper.

2. Sauerstoff wird fortwährend der Luft zugeführt.

Diese Zuführung geschieht einzig und allein durch die Lüfternährung der Pflanzen unter dem Einfluss des Lichtes, durch jenen Gasaustausch, bei dem Kohlendioxyd von der grünen Pflanze aufgenommen und Sauerstoff entwickelt wird. Wir können nicht umhin, auf diesen Prozess, der eigentlich erst in ein späteres Kapitel hineingehört, schon hier kurz einzugehen, weil dieser Prozess eben der einzige Weg zur Erneuerung des atmosphärischen Sauerstoffes ist, und weil das vegetabilische Leben zu den wichtigen geologischen Vorgängen in eingreifender Wechselwirkung steht.

Der Gasaustausch der grünen Gewächse unter dem Einflusse des Lichtes, dessen wir schon Seite 10 gedachten, wurde früher mit als „Pflanzenatmung“ bezeichnet, während man heute unter der letzteren nur einen Vorgang versteht, der der tierischen Atmung ganz analog ist, also eine Sauerstoffaufnahme und eine Kohlendioxydabgabe seitens der Pflanze umfasst.

Die Wichtigkeit des pflanzlichen Gasaustausches für die geologischen Vorgänge wird erklärlich, wenn man bedenkt, dass das Hauptelement der pflanzlichen Organismen, der Kohlenstoff, gleichsam den Übergang des Sauerstoffes aus der Atmosphäre in das Mineralreich und zurück in jene vermittelt, dass der Kohlenstoff — durch das Kohlendioxyd — als Sauerstoffüberträger wirkt. Der Kohlenstoff der verwesenden organischen Substanzen geht bei der Verwesung, die im nächsten Kapitel Besprechung findet, in Kohlendioxyd über, also in dieselbe Verbindung, als welche er schon einmal in der Atmosphäre existierte, bevor er von der Pflanze (und dem Tier) aufgenommen und zur Bildung organischer Substanz verwandt wurde. Mit dem Kreislauf des Sauerstoffes ist also derjenige des Kohlendioxydes in vieler Hinsicht innig verknüpft und er ist wiederum meistens das Resultat pflanzlicher und tierischer Thätigkeit.

Keht doch ein grosser Teil des von den jährlich wachsenden Pflanzen assimilierten Kohlenstoffes direkt wieder als Kohlendioxyd in die Atmosphäre zurück.

In den hier geschilderten Kreislauf des Kohlendioxydes drängen sich nun Faktoren hinein, die nichts mit dem organischen Leben zu thun haben, sondern einzig und allein mit dem Mineralreich in Zusammenhang stehen.

Hier ist zuerst auf den schon behandelten Prozess der Verwitterung hinzuweisen, bei dem Kohlendioxyd der Atmosphäre entzogen wird. Und zwar handelt es sich dabei nicht um eine ganz vorübergehende Entziehung, wie bei der Assimilierung durch Pflanze und Tier, sondern diese Entziehung ist dauernd — wenigstens für absehbare Zeiten dauernd —, indem das Kohlendioxyd in Form der Karbonate dem Mineralreich einverleibt wird.

Weiter scheidet eine grosse Menge von Kohlenstoff aus dem Kreislauf der atmosphärischen Bestandteile dadurch aus, dass er „verkohlt“ wird und sich in Form von Braunkohle, Steinkohle und Anthracit ablagert. Werden diese Stoffe auch schliesslich wieder in Kohlendioxyd umgesetzt, indem sie der Kulturmensch zu häuslichen oder industriellen Zwecken verbrennt, so liegen zwischen ihrer Entstehung und dieser ihrer Nutzbarmachung doch lange — selbst geologisch genommen, lange — Zeiträume, während welcher das darin aufgespeicherte Kohlendioxyd der Atmosphäre entzogen bleibt ¹⁾.

Verwitterung und Verkohlung machen die Atmosphäre immer ärmer an Kohlendioxyd, und man kann mit Sicherheit aussprechen, dass die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft dadurch ausserordentlich tiefgreifende Veränderungen erfahren hat, dass sie früher viel reicher an Kohlendioxyd gewesen ist als heute. Hierfür spricht die später nie wieder erreichte Üppigkeit des Pflanzenwuchses früherer Entwicklungsstadien, namentlich der karbonischen Periode.

Der nach Menge weitaus bedeutendste Bestandteil der atmosphärischen Luft, der Stickstoff, ist nach den bisherigen Forschungen an den Umsetzungen der Mineralstoffe garnicht beteiligt. Man kennt im Mineralreich überhaupt nur drei Stickstoffverbindungen, nämlich Ammoniak, salpetrige Säure und Salpetersäure, und alle drei verdanken ihre Entstehung der Zersetzung organischer Körper. Der Stickstoff ist, wie schon mehrfach erwähnt wurde (vgl. Seite 9 und Seite 18), einer der indifferentesten Körper; ohne

1) Genau dasselbe gilt von den sogenannten bituminösen Substanzen, von der Naphta und dem Petroleum, von dem Erdpech und Asphalt — alles Verbindungen, deren Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre entstammt.

Gegenwart organischer Substanzen hat man bisher nur eine Verbindung des Stickstoffes direkt entstehen sehen, es ist dies die Salpetersäure, die sich beim Durchschlagen des Blitzes durch die Luft spurenweise bildet.

B. Luftwirkungen auf organische Stoffe.

In diesem Kapitel sollen die Einflüsse der Atmosphäre auf organische, aber unbelebte Körper besprochen werden, d. h. auf alle Kohlenstoff und Wasserstoff enthaltende Substanzen, die nicht dem lebenden pflanzlichen oder tierischen Organismus angehören.

Die wichtigsten Zersetzungs Vorgänge der organischen Abfallstoffe sind die Verwesung, auch Eremakausis¹⁾ genannt, und die Fäulnis (Putrefactio). Von diesen ist nur die erstere an den ungehinderten Zutritt der atmosphärischen Luft gebunden, während eine Fäulnis nur zustande kommt, wenn die Luftzufuhr beschränkt oder gänzlich aufgehoben ist. Die Fäulnis scheidet mithin aus unseren Betrachtungen aus.

Unter²⁾ dem ungehinderten Zutritt der atmosphärischen Luft entstehen bei dem Zerfall der organischen Stoffe unter gewissen Bedingungen Kohlendioxyd, Wasser, Ammoniak (und freier Stickstoff), wobei die bisher von der organischen Substanz eingeschlossenen Mineralstoffe frei werden und grösstenteils in eine assimilierbare³⁾ Form übergehen. Es bilden sich also bei einem derartigen Zerfall organischer Stoffe unter Umständen direkt wertvolle, aufnehmbare Nährstoffe, oder aber Verbindungen, die, wie das Kohlendioxyd, durch Zersetzung (Verwitterung) von Mineralstoffen die Fruchtbarkeit des Bodens erhöhen.

Die Verwesung ist hiernach eine unter Luftzutritt vor sich gehende Zersetzung organischer Materie, gekennzeichnet durch Verflüchtigung der organi-

1) Nach E. W. Hilgard. Von *ήρεμα* = still und *καύσις* = Verbrennung.

2) Wir benutzen hier das ausgezeichnete Werk: Wollny, Die Zersetzung der organischen Stoffe. 1897.

3) Assimilierbar = aufnahmefähig ist hier gegenüber den Pflanzen gemeint. Wollny, dem wir diesen Absatz entnehmen, schreibt sein Werk mit Rücksicht auf die Landwirtschaft und im besondern auf die Düngerlehre.

schen Verbindungen unter Zurücklassung der nicht flüchtigen, zum grössten Teil in den assimilierbaren Zustand übergehenden Mineralstoffe.

Das erste, als Pflanzennährstoff auftretende Produkt der Verwesung ist das Ammoniak. Dasselbe bleibt jedoch im allgemeinen nicht lange bestehen, sondern wird — bei weiterem, ungehindertem Luftzutritt — durch einen Prozess, den man Nitrifikation nennt, weiter in salpetrige Säure und dann in Salpetersäure übergeführt.

Die Nitrifikation ist nach neueren Forschungen der Thätigkeit besonderer Mikroorganismen zuzuschreiben; aber es muss nochmals betont werden, dass diese Oxydation des Ammoniaks nur möglich ist, falls der Luftzutritt nicht eingeschränkt wird.

Eine noch offene Streitfrage ist es, ob, wie manche Forscher behaupten, bei der Verwesung stickstoffhaltiger organischer Stoffe direkt oder nach vorangegangener Nitrifikation freier Stickstoff entwickelt wird.

Damit eine Verwesung zustande kommt, müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein, und der Grad und Verlauf des Zersetzungsprozesses wird beeinflusst durch die Zu- und Abnahme dieser einzelnen Faktoren.

Von diesen Faktoren kommen hier nicht in Betracht die Mikroorganismen, als deren Lebensäusserung die Verwesung zum grossen Teil anzusehen ist, auch nicht die chemische Zusammensetzung, mechanische Anordnung, Konzentration und Verteilung der Zersetzungssubstanz¹⁾.

Um so mehr sind hier die äusseren Bedingungen der Verwesung zu erörtern, wie Luftzufuhr, Wärme, Feuchtigkeit und Licht.

Dass die Luftzufuhr eine Hauptbedingung für das Zustandekommen der Verwesung ist, wird ohne weiteres klar, wenn man sich erinnert, dass der in Rede stehende Prozess vorwiegend als Oxydationsvorgang aufzufassen ist.

1) Es sei hier nur erwähnt, dass mit seltenen Ausnahmen alle tierischen Reste leichter verwesend als die pflanzlichen. Dies gilt sowohl von der Oxydation des Kohlenstoffes, als auch von der Ammoniakbildung und Nitrifikation.

Auf die Verwesung ist der Zersetzungsgrad der organischen Substanz von grossem Einfluss. Es hat sich ergeben, dass derartige Stoffe um so schwieriger verwesend, je weiter ihre Zersetzung bereits fortgeschritten ist.

Eingehende Versuche von Fodor¹⁾, Schloesing²⁾ und namentlich von Wollny³⁾ berechtigen zu den Schlüssen:

Die Intensität der Verwesungsvorgänge (Oxydation des Kohlenstoffes und Stickstoffes) nimmt im allgemeinen mit der Menge des zugeführten Sauerstoffes zu. Bildung von Kohlendioxyd kann in beschränktem Masse auch bei Abschluss des Sauerstoffes stattfinden. Dagegen kommt es unter Luftabschluss nicht nur zu keiner Nitrifikation, sondern es werden sogar die vorhandenen Nitrite und Nitrate reduziert.

Dass die Wärme bei der Verwesung eine grosse Rolle spielt, liegt hauptsächlich daran, dass dieser Prozess seinen Ursprung in der Thätigkeit von Organismen hat. Im Allgemeinen steigt die Zersetzung der organischen Stoffe unter gleichen äusseren Verhältnissen mit wachsender Temperatur, und sie nimmt umgekehrt mit sinkender Wärme ab. Das Optimum für diese Zersetzungsvorgänge scheint ungefähr bei 37° C. (d. h. bei der normalen menschlichen Körpertemperatur) zu liegen; steigt die Wärme weiter, so nimmt die Intensität des Verwesungsprozesses wieder ab.

Über die Bedeutung der Feuchtigkeit für den Prozess der Verwesung sind ebenfalls zahlreiche Untersuchungen angestellt worden. Als Resultat derselben lässt sich anführen:

Die Zersetzung der organischen Stoffe nimmt zu mit deren Feuchtigkeitsgehalt. Dies gilt aber nur solange als die Luft freien Zutritt hat; wird der Wassergehalt so hoch, dass er die Luftzufuhr beeinträchtigt, so drückt dies die Bildung des Kohlendioxydes herab. Es geht also die Abspaltung von Kohlendioxyd am lebhaftesten bei einem gewissen mittleren Feuchtigkeitsgehalt der verwesenden Substanz vor sich; von diesem Optimum ab vermindert sie sich stetig, sowohl mit ab- als mit zunehmendem Wassergehalt. Im lufttrocknen Zustande der Substanz ist keine, bei vollständiger Durchtränkung derselben mit Wasser ist nur eine ganz schwache Entwicklung von Kohlendioxyd nachzuweisen. Alle diese für die Oxydation des Kohlenstoffes gefundenen, von der Feuchtigkeit abhängigen Gesetzmässigkeiten gelten ebenso auch für die Oxydation des Stickstoffes. —

Über den Einfluss des Lichtes auf die Prozesse der Verwesung ist zu bemerken, dass dieser Einfluss bisher nur für einen

1) Fodor, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. 1882.

2) Compt. rend. T. LXXVII. p. 203 und 353.

3) Journ. f. Landw., 1886, 236.

Teil der Verwesung, nämlich für die Nitrifikation experimentell geprüft worden ist. Dabei hat sich nach Soyka¹⁾ und Warrington²⁾ ergeben, dass das Licht die Nitrifikation hemmt, während Dunkelheit darauf günstig einwirkt.

Es wurde schon erwähnt, dass der Gegensatz der Verwesung der Vorgang der Fäulnis ist, und dass diese unter Luftabschluss vor sich geht. Von einem Einfluss der Atmosphäre auf die Fäulnis kann man also nur sprechen, wenn man die Luft als negativen Faktor betrachtet, d. h. als solchen, der das Zustandekommen der Fäulnis verhindert.

Zwischen Fäulnis und Verwesung steht der Prozess der Vermoderung; derselbe zustande in stickstoffarmen Substanzen, bei mässigem Wassergehalt und unter Zutritt von Luft.

Unter gewissen Verhältnissen können in einer und derselben Masse Verwesung, Vermoderung und Fäulnis gleichzeitig stattfinden, je nachdem grössere oder geringere Luftmengen in die einzelnen Schichten eindringen können³⁾.

Es giebt noch manche andere Zersetzungs Vorgänge organischer Stoffe, die aber alle bei weitem nicht die Wichtigkeit haben wie Verwesung und Fäulnis. Von solchen Zersetzungsprozessen seien, soweit sie hierher gehören, also an die Gegenwart von Luft gebunden sind, genannt: 1. die Ammoniakgärung des Harnstoffes und 2. das Ranzigwerden der Fette.

Es ist bekannt, dass normaler Harn des Menschen und der Haussäugetiere beim Stehen an der Luft einen ammoniakalischen Geruch annimmt. Es rührt dies daher, dass der Harnstoff unter Aufnahme von Wasser in Ammoniumkarbonat umgesetzt wird.

Die meisten pflanzlichen und tierischen Fette werden unter dem Einfluss von Licht und Luft nach kürzerer oder längerer Zeit ranzig, d. h. die Fette (Fettsäureglyceride) werden zuerst in Glycerin und freie Fettsäure zerlegt, und letztere wird weiter in die flüchtigen Oxyfettsäuren umgesetzt, denen der besondere, unangenehm kratzende (ranzige) Geschmack und Geruch eigen ist.

Weitere Zersetzungs Vorgänge organischer Abfallstoffe, bei denen die atmosphärische Luft beteiligt ist, haben zu wenig Allgemeinbedeutung, als dass an dieser Stelle eine Besprechung angebracht wäre.

1) Zeitschr. f. Biologie, XIV. 1878.

2) Landw. Versuchsstation, XXIV. 161.

3) Zu solchen Substanzen, bei denen Fäulnis und Verwesung gleichzeitig an der Zersetzung beteiligt sind, gehört z. B. der Stalldünger.

C. Einfluss der Atmosphäre auf die Pflanzenwelt.

Es liess sich nicht vermeiden, dass schon früher (Seite 10 und 233) auf die Beteiligung der Pflanzenwelt an der Zusammensetzung der Atmosphäre, auf die Gasdialyse der grünenden Gewächse und auf die Luftatmung der Pflanzen hingewiesen wurde.

Wie gesagt, unterscheidet man zwei Prozesse der Wechselwirkung zwischen Pflanze und Atmosphäre. Zuerst gehört hierher für die meisten Pflanzen die Kohlendensäureaufnahme und Sauerstoffabgabe bei der Produktion der organischen Substanz in der chlorophyllhaltigen ¹⁾ Zelle, sodann der umgekehrte Gasaustausch bei der Pflanzenatmung. Es kommt ausserdem noch in Betracht die Ausgabe des Wassers, die bei allen Landpflanzen ²⁾ in Gasform geschieht, und vielleicht noch bei einigen Pflanzen die gelegentliche Wasserverdichtung durch das organische Gewebe. Schliesslich könnte noch angeführt werden, dass Spuren gasförmigen Ammoniaks aus der Luft von den Pflanzen aufgenommen werden, während wieder manche riechende ätherische Öle in gasiger Form von den Gewächsen entwickelt werden und in die Atmosphäre übergehen.

Lange Zeit erschien es zweifelhaft, woher das Kohlendioxyd stammt, das in den chlorophyllhaltigen Organen der Pflanzen verarbeitet wird. Man konnte meinen, dass dasselbe aus dem Boden stammt, oder aber dass es in den Pflanzenteilen selbst erst erzeugt wird, erzeugt aus Stoffen, die die Pflanze durch Kapillarität ihrem Nährboden entzieht. An einer hervorragenden Beteiligung der Atmosphäre bei der Assimilierung des Kohlendioxydes wollte man garnicht recht glauben, und zwar führte man dagegen an, dass die Atmosphäre viel zu arm an Kohlendioxyd sei, um die grossen Mengen dieses Gases zu liefern, die für den Aufbau der Pflanzen notwendig sind.

Sehr eingehende Versuche haben aber auf das entschiedenste bewiesen, dass die Hauptmasse des Kohlendioxydes, das die Pflanze zur Produktion verwendet, jedenfalls der Luft entstammt. Daneben hat sich allerdings ergeben, dass die Pflanze das Kohlendioxyd zu

1) Das Blattgrün (Chlorophyll), das in der Pflanze unter dem Einfluss des Sonnenlichtes entsteht, bildet mikroskopisch kleine Körner oder Bänder. Das Chlorophyll ermöglicht es der Pflanze allein, Kohlenstoff in Form von Kohlendioxyd aus der Luft zu assimilieren.

2) Dasselbe gilt auch von denjenigen Wasserpflanzen, bei denen sich einzelne Organe in die Luft erstrecken.

ibrer Ernährung nimmt, wo sie es findet, dass sie also nebenbei auch das im Sickerwasser des Bodens vorhandene Kohlendioxyd ausnutzt.

Neben dem genannten Gasaustausch (Aufnahme von CO_2 und Abgabe von O), wie er zum Zustandekommen des Assimilationsprozesses in der chlorophyllhaltigen Zelle unerlässlich ist, kommt dann der viel allgemeiner verbreitete, obwohl durchschnittlich mit sehr viel geringerer Intensität sich vollziehende umgekehrte Gasaustausch der Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxydabgabe in Betracht, also der Prozess, den man mit gewissem Rechte als Pflanzenatmung bezeichnet.

Sind für die Kohlendioxydaufnahme (und O-Abgabe) in den Pflanzen besondere Organe, die Chlorophyllkörner, vorhanden, so fehlen derartige Organe für den umgekehrten Vorgang, also für die eigentliche Pflanzenatmung durchaus. Dass besondere Vorrichtungen für den letztgenannten Prozess entbehrlich sind, lässt sich aus zwei Thatsachen erklären. Einmal nämlich geht dieser Oxydationsprozess gegenüber jenem der Reduktion durchschnittlich mit viel geringerer Energie vor sich, und weiter muss die Zusammensetzung der Atmosphäre selbst den Oxydationsprozess in der Pflanze stützen und fördern. Die Atmosphäre enthält ja rund 20 % Sauerstoff und weniger als $\frac{1}{20}$ % Kohlendioxyd; sie hat also an dem zur Atmung unentbehrlichen Gase mehr als die 400fache Menge von der des Kohlendioxydes zur Verfügung. So ist es möglich, dass auch ohne besondere, der Sauerstoffaufnahme dienende Organe, an allen Stellen der Pflanze, auch tief im Innern ihres Gewebes, genügende Mengen des unentbehrlichen Sauerstoffes vorhanden sind. Es ist übrigens ausserdem zu beachten, dass der Sauerstoff durch feuchte Membranen mit grösserer Leichtigkeit diffundiert als der Stickstoff, und dass daher die Pflanze ein sauerstoffreicheres Gemisch aufnimmt, als die atmosphärische Luft selbst ist.

Weiter dürfte möglicherweise die von den chlorophyllhaltigen Organen unter dem Einflusse des Lichtes produzierte Sauerstoffmenge die Pflanzenatmung begünstigen. Beide entgegengesetzte Prozesse müssen überhaupt notwendigerweise einander unterstützen, und auch das bei der Pflanzenatmung erzeugte Kohlendioxyd dürfte zum Teil der Reduktion, also der Assimilierung des Kohlenstoffes dienstbar gemacht werden; erstreckt sich eine derartige Ausnutzung freilich nur auf die Wiedergewinnung von etwas eben Verlorenem, so wird doch, wenn hierdurch ein gewisser Teil des Kohlenstoffverlustes wieder gedeckt wird, eine um so grössere Menge des ausserdem zugeführten (atmosphärischen) Kohlendioxydes zum Aufbau der Pflanze selbst verwendet werden können.

Die Thätigkeit des Chlorophylls, bestehend in der Aufnahme von CO_2 und in der Abgabe von O , ist, wie mehrfach erwähnt wurde, an das Vorhandensein von Licht geknüpft.

Freilich müssen auch noch andere Bedingungen erfüllt sein, um die chlorophyllhaltige Zelle zur Bildung von organischer Substanz zu befähigen. Die Zelle selbst muss nämlich dazu ein ziemlich wasserreiches Protoplasma besitzen¹⁾. Weiter ist zum Zustandekommen des Prozesses eine gewisse Wärmemenge nötig; aber vor allen Dingen wichtig, und als Hauptbedingung der Kohlendioxydaufnahme durch die Pflanze zu merken, ist die Gegenwart des Lichtes. Durch viele Versuche ist bewiesen worden: Das Licht ist diejenige Kraft, welche die zu dem Prozesse der Erzeugung von organischer Substanz notwendige Arbeit leistet.

Es drängt sich nun die Frage auf, welcher Teil des Lichtes, welche Strahlengattungen es sind, gegen die das Chlorophyll reagiert. Licht ist im allgemeinen ein Gemenge von Strahlen sehr verschiedener Brechbarkeit und sehr verschiedener Wirkung. Ein Teil der Strahlen hat in erster Linie optische Wirkungen, d. h. er ruft in unsern Sehnerven den Eindruck der Lichtempfindung hervor. Ein anderer Teil der Strahlen zeigt vorwiegend thermale Wirkungen, d. h. er wird sehr leicht von gewissen Körpern absorbiert und erwärmt diese dabei. Ein dritter Teil endlich hat vorwiegend chemische Wirkungen; er ist befähigt, stoffliche Veränderungen in den bestrahlten Körpern hervorzubringen. Es ist übrigens dabei zu bemerken, dass die Wirkungsweise der einzelnen Strahlenarten nicht ganz streng von einander geschieden werden kann, und dass manche Strahlen gleichzeitig mehrerer verschiedener Wirkungen fähig sind. Im allgemeinen ist festzuhalten, dass die am stärksten brechbaren Strahlen — violette und ultraviolette Strahlen — vorwiegend chemische Wirkungen zeigen, dass die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit vor allem Lichtempfindungen auf unserer Netzhaut hervorzurufen vermögen, und dass schliesslich die am wenigsten brechbaren Strahlen — rote und infrarote Strahlen — vorwiegend Wärmewirkungen entfalten.

Man kommt nun ohne weiteres zu der Folgerung, dass es vorwiegend die chemischen, also violetten und ultravioletten Strahlen

1) Mayer (l. c.) schreibt darüber: „Diese Thatsache hat eine sehr erhebliche praktische Bedeutung, da sie erklärt, warum die Grasproduktion auf Trockenwiesen, aber auch der Ertrag der meisten andern landwirtschaftlichen Gewächse in wasserarmen Perioden, so ausserordentlich Not leidet, und zwar dies thut, ehe die Trockenheit ein Absterben der Pflanzen veranlasst, d. h. also bis zur wirklichen Dürre geht.“

sein müssen, die den chemischen Vorgang der Kohlendioxydbindung durch das Chlorophyll auslösen, und in der That ist diese Ansicht lange Zeit allgemein geteilt worden, selbst von grossen Gelehrten wie Helmholtz¹⁾. Aber das Experiment hat gerade das Gegenteil bewiesen, und es lässt sich nicht mehr bezweifeln, dass die chemischen Strahlen nicht nur für die Sauerstoffabscheidung, sondern überhaupt für den ganzen Prozess der Entstehung von organischer Substanz völlig entbehrlich sind.

Die Strahlen, denen in erster Linie die Einwirkung auf die chlorophyllhaltige Zelle bei dem vorliegenden chemischen Prozess zukommt, sind leuchtende, rote Strahlen zwischen den Fraunhoferschen Linien B und C²⁾.

Auf Umwegen werden allerdings auch die chemischen Strahlen für diesen Prozess nutzbar gemacht, und zwar durch eine besondere Eigentümlichkeit des Chlorophylls, nämlich durch seine Fluoreszenz. Durch diese Fluoreszenz geschieht es, dass die chemisch wirksamen Lichtstrahlen in rote, leuchtende Strahlen umgemodelt werden, und zwar nach neueren Untersuchungen in solche Strahlen, die zwischen den Linien B und C liegen, also am meisten zum Produktionsprozess befähigt sind. Die durch Fluoreszenz verwandelten Strahlen, die z. B. an der dem Lichte abgewendeten Blattseite oder in Folge der Strahlung des erzeugten Fluoreszenzlichtes nach allen Seiten austreten, können so in den chlorophyllhaltigen Zellen eines zweiten Blattes von neuem zur Produktion von organischer Substanz beitragen.

Erst diese indirekte Ausnutzung auch der chemischen Strahlen bei dem Assimilationsprozess erklärt eine Thatsache, die früher als hauptsächlichlicher Beweis für die direkte Beteiligung der ultravioletten Strahlen an diesem Prozess galt, nämlich das Faktum, dass die chlorophyllhaltigen Pflanzenorgane für chemische Strahlen undurchlässig sind, auch keine solche reflektieren, sie vielmehr ganz und gar absorbieren.

Wenn man erwägt, dass der Aufbau der grünen Gewächse, ihre Stoffanreicherung an die Assimilierung des Kohlendioxydes durch das Chlorophyll gebunden ist, so ist man leicht geneigt, diesen Reduktionsvorgang für die Pflanzenwelt als weitaus wichtiger anzusehen, als den umgekehrten Prozess der Oxydation, der Pflanzenatmung,

1) Helmholtz, „Wechselwirkung der Naturkräfte“. 1854. 37.

2) Über die Lage der Fraunhoferschen Linien im Spektrum vgl. man Fig. 23 auf Seite 195.

wie er durch die Aufnahme von Sauerstoff und durch die Ausscheidung von Kohlendioxyd gekennzeichnet ist. Aber es wäre eine solche Annahme gänzlich falsch.

Die Atmung ist für die Pflanze genau so unentbehrlich wie für den tierischen Organismus. Wird der Sauerstoff der Pflanze längere Zeit entzogen, so kehren die Lebenserscheinungen auch nach Wiedereintritt des Sauerstoffes nicht zurück; die Pflanze erstickt unter solchen Umständen ebenso wie das Tier.

Die Anwesenheit des Sauerstoffes ist nötig, um die Zirkulation des Zellinhaltes, die Strömung des Protoplasmas zu erhalten. Auch hat sich ergeben, dass mit der Pflanzenatmung eine Temperaturerhöhung verknüpft ist. Genau wie beim Tiere resultiert also aus der Aufnahme von Sauerstoff eine Abgabe von Kohlendioxyd, weiter Produktion von Wärme und Auslösung von Bewegungsvorgängen¹⁾.

Die bisherigen Betrachtungen haben die grosse Wichtigkeit zweier der Luftbestandteile für die Pflanzenwelt erwiesen, nämlich den Einfluss des Sauerstoffes und den des Kohlendioxydes. Überblicken wir die andern Bestandteile der atmosphärischen Luft hinsichtlich ihrer möglichen Bedeutung für die Gewächse, so scheint es, als ob wir einen Luftbestandteil, den Stickstoff von vornherein ausscheiden könnten. Hierzu möchte man sich berechtigt fühlen, wenn man an die ausserordentliche Indifferenz des Stickstoffes (vgl. Seite 9) denkt, wenn man sich erinnert, dass dieser quantitativ bedeutendste Luftbestandteil auch an der Umsetzung der mineralischen Stoffe gänzlich unbeteiligt ist (vgl. Seite 234). Bestärkt wird man in dieser Erwägung durch die Thatsache, dass die Pflanzen recht häufig an Stickstoffmangel zu leiden scheinen, oder genauer ausgedrückt, dass sie auf künstliche Zufuhr stickstoffhaltiger Substanzen meistens durch ein üppigeres Wachstum reagieren; ein solcher Mangel sollte aber unmöglich sein, falls der ungeheuere Stickstoffvorrat der atmosphärischen Luft direkt durch die Pflanzen assimilierbar wäre.

Diese Annahme wurde bestätigt durch unermüdliche Untersuchungen und ebenso zahlreiche wie sorgfältige Versuche von Boussingault, und es erschien als unbestreitbare Thatsache,

1) Das Protoplasma ist dem tierischen Muskel vergleichbar; beide werden durch Oxydation zur Bewegung befähigt. Ein sehr unwesentlicher Unterschied liegt darin, dass der Oxydationsprocess in der Pflanze direkt durch den Sauerstoff, im tierischen Muskel dagegen durch Vermittlung des sauerstoffreichen Blutes bewirkt wird.

dass der freie atmosphärische Stickstoff nicht als Nahrung der höheren Pflanze dienen kann.

Weiter ist aber auch bekannt, dass Stickstoffverbindungen, die ihrerseits von den Gewächsen assimiliert werden könnten, aus dem atmosphärischen Stickstoff nicht entstehen, oder wenigstens nur in sehr geringen Mengen und unter Verhältnissen, die für die Natur als ganz ungewöhnlich anzusehen sind. Wir erinnern hier nochmals an die Bildung von Spuren salpetriger Säure und Salpetersäure beim Durchschlagen des Blitzes durch die Luft; wir erwähnen weiter, dass bei der Einwirkung von Wasser auf Stickstoff in hoher Temperatur Ammoniumnitrit entsteht, und dass auch sonst noch einige Prozesse bekannt sind, durch die es dem Chemiker gelingt, künstlich den Stickstoff direkt mit andern Elementen zu verbinden. Alle diese Prozesse gehen nur bei sehr hohen Temperaturen vor sich, bei solchen, die jedenfalls heutzutage nur unter ganz seltenen und aussergewöhnlichen Verhältnissen natürlich auf der Erdoberfläche vorkommen.

Es scheint nach allem, dass der atmosphärische Stickstoff weder direkt noch auch indirekt an dem Aufbau und der Erhaltung der Pflanzenwelt ¹⁾ beteiligt ist, dass also der atmosphärische Stickstoffvorrat durch die Vegetation keine Änderung erfahren kann. Man könnte im Gegenteil vielleicht an eine Vermehrung des Stickstoffgehaltes der Luft unter dem Einfluss der Pflanzenwelt denken, da es als erwiesen gilt, dass faulende und verwesende Substanzen kleine Mengen von freiem Stickstoff entwickeln, und dass bei der Verbrennung vieler stickstoffhaltiger, organischer Verbindungen unter reichlichem Luftzutritt ein Teil des Stickstoffes in elementarer, gasiger Form frei wird.

Weiss man auch, dass gewisse Mengen von Ammoniak und Salpetersäure mit den atmosphärischen Niederschlägen auf die Erde gelangen und so von den Pflanzen aufgenommen werden können, so ist doch anderseits längst erwiesen, dass diese Mengen dem Stickstoffbedarf der Vegetation bei weitem nicht genügen, dass also letzterer durchaus auf den an der Erdoberfläche (und in der Erdkruste) vorhandenen gebundenen Stickstoff angewiesen ist.

Eine wunderbare Ausnahme von dem Satze, dass der freie Stickstoff der Atmosphäre dem Wachstum der höheren Pflanzen nicht zu

1) Nicht berücksichtigt sind hierbei frühere Entwicklungsperioden unseres Planeten, in denen sehr wahrscheinlich unter dem Einflusse hoher Temperaturen u. s. w. atmosphärischer Stickstoff fixiert wurde; die damals entstandenen Stickstoffverbindungen können selbstverständlich noch heute an der Entwicklung der Vegetation teilnehmen.

gute kommt, bilden einzig zahlreiche Papilionaceen (Schmetterlingsblüter). Schon lange wusste man, dass einzelne hierzu gehörige Pflanzen mehr Stickstoff zu ihrem Aufbau verwenden, als dem Stickstoffgehalt ihres Nährbodens entspricht. Aber es verfloss lange Zeit, bevor es gelang, die Erklärung für diese rätselhafte Thatsache zu finden. Die Versuche von Hellriegel¹⁾ sind für die ganze Agrikulturchemie von fundamentalster Bedeutung; wir können nicht umbin, in kurzen Worten auf diese Versuche und ihre Resultate einzugehen²⁾:

Hellriegel wollte den Nähreffekt gewisser Nährstoffe bestimmen und geriet gelegentlich der zugehörigen Versuche bei den Papilionaceen auf unerklärliche Ungleichheiten und Widersprüche. Nährende Stickstoffverbindungen, deren Zufügung bei den Gramineen immer eine Produktionszunahme bedingte, erwiesen sich bei den Schmetterlingsblütern bald als nützlich, bald als überflüssig. Dieses Ergebnis führte Hellriegel zu eingehenden Versuchen und zu einer wunderbaren Entdeckung.

Wurde zur Bepflanzung ein stickstoffloser, sterilisierter und sterilisiert erhaltener Boden verwendet, so verhielten sich die geprüften Leguminosen³⁾ genau so wie andere Pflanzenfamilien in stickstofflosem Boden, d. h. sie assimilierten und produzierten nichts, konnten aber durch Zugabe von Nitraten zum Boden in normales Wachstum gebracht werden. Alles liess darauf schliessen, dass die Versuchspflanzen ihre Stickstoffnahrung einzig und allein dem Boden entnahmen.

In einem nicht sterilisierten Boden aber vermochten die Leguminosen unter gewissen Umständen zu wachsen, ja sich üppig zu entwickeln, auch wenn derselbe frei war von assimilierbaren Stickstoffverbindungen. Dies trat besonders dann ein, wenn die Versuchskulturen während der Vegetation unbedeckt im Freien gehalten wurden. In den Ernteprodukten liess sich stets ein entschiedenes, zuweilen sehr hohes Mehr an Stickstoff nachweisen, das nicht aus dem Boden stammen konnte. — Bei den Kontrollkulturen anderer Pflanzenfamilien⁴⁾ zeigte sich in stickstofflosem Boden, selbst wenn derselbe nicht sterilisiert war, niemals ein Wachstum und ebenso wenig ein Stickstoffgewinn.

1) Hellriegel und Wilfarth: Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen. Beilageheft zu der Zeitschr. des Vereins f. d. Rübenzuckerindustrie, November 1888.

2) Wir folgen dabei zum Teil den Ausführungen in Mayer: „Die Ernährung der grünen Gewächse“. 1895.

3) Die Leguminosen (Hülsenfrüchte) sind Schmetterlingsblüter.

4) Zu den Kontrollversuchen dienten zwei Gramineen, und zwar Hafer und Gerste.

In sterilisiertem und sterilisiert erhaltenem Boden wurde das Auftreten der charakteristischen Wurzelknöllchen bei den Leguminosen nicht bemerkt, gleichgiltig ob der Boden stickstofflos war und die Pflanzen langsam darin verhungerten, oder ob derselbe mehr oder weniger Nitrate enthielt und die Pflanzen infolgedessen eine mehr oder weniger gute Entwicklung erreichten.

In nicht sterilisiertem Bodenmaterial ¹⁾ war dagegen die Bildung normal entwickelter Wurzelknöllchen stets nachweisbar, und damit verbunden eine erhebliche Assimilation von Stickstoff, der nicht aus dem Boden stammen konnte.

Lebhaftes Wachstum der Leguminosen mit erheblicher Stickstoff-assimilation liess sich in stickstofflosem Boden auch dann erzielen, wenn man sie in einer von Stickstoffverbindungen gereinigten Atmosphäre oder in einem beschränkten Luftvolumen vegetieren liess, das ihnen höchstens Spuren gebundenen Stickstoffes liefern konnte.

Aus diesen und noch einigen andern Versuchsergebnissen schliesst Hellriegel:

1. Die Leguminosen verhalten sich bezüglich der Aufnahme ihrer Stickstoffnahrung von den Gramineen prinzipiell verschieden.

2. Die Gramineen sind mit ihrem Stickstoffbedarf einzig und allein auf die im Boden vorhandenen assimilierbaren Stickstoffverbindungen angewiesen, und ihre Entwicklung steht immer zu dem disponiblen Stickstoffvorrat des Bodens in direktem Verhältnisse.

3. Den Leguminosen steht ausser dem Bodestickstoff noch eine zweite Quelle zur Verfügung, aus der sie ihren Stickstoffbedarf in ausgiebigster Weise zu decken und, soweit ihnen die erste Quelle nicht genügt, zu ergänzen vermögen.

4. Diese zweite Quelle bietet der freie, elementare Stickstoff der Atmosphäre.

5. Die Leguminosen haben nicht an sich die Fähigkeit, den freien Stickstoff der Luft zu assimilieren, sondern es ist hierzu die Beteiligung von lebensfähigen Mikroorganismen im Boden unbedingt erforderlich.

6. Um den Leguminosen den freien Stickstoff für Ernährungszwecke dienstbar zu machen, genügt

1) Wir übergehen hier eine weitere Versuchsreihe, bei der die Kulturböden mit Aufgüssen anderer, wirksamer Bodenarten getränkt wurden.

nicht die blosse Gegenwart beliebiger niederer Organismen im Boden, sondern ist es nötig, dass gewisse Arten der letzteren mit den ersteren in ein symbiotisches Verhältnis treten.

7. Die Wurzelknöllchen der Leguminosen sind nicht als blosse Reservespeicher für Eiweissstoffe zu betrachten, sondern stehen mit der Assimilation des freien Stickstoffes in einem ursächlichen Zusammenhange.

Im ganzen sind also von Hellriegel folgende drei Entdeckungen gemacht und von ihm in die Wissenschaft eingeführt worden:

1. Die eigentümliche, der sonstigen Ernährungslehre der Pflanzen widersprechende Assimilation von freiem Stickstoff durch Pflanzen aus der Familie der Leguminosen.

2. Diese Erscheinung ist, was äusserliche Bedingungen anlangt, an bestimmte, für besondere Pflanzenarten besondere, aber noch nicht näher gekannte niedere Organismen geknüpft¹⁾.

3. Die Ausübung der Funktion ist an dem dazu befähigten Pflanzenindividuum zu erkennen an dem Erscheinen der Wurzelknöllchen, welche unmittelbar vorher auftreten, ehe die Pflanze durch Üppigwerden die Bindung von freiem Stickstoff anzeigt, also zu dieser Bindung zweifellos in einem ursächlichen Zusammenhange stehen.

Die Versuche Hellriegels — so positiv ihre Resultate waren — bedurften doch noch mannigfacher Ergänzung und Erweiterung. Denn erstens erstreckten sich seine Versuche nur auf etwa 12 Kulturpflanzen²⁾, und zweitens fehlte noch die Kenntnis der bei der Stickstoffassimilation thätigen Mikroorganismen.

Inzwischen sind von vielen Seiten Ergänzungsbeobachtungen angestellt worden, und so hat sich denn der Kreis der Pflanzen, die hinsichtlich der Assimilation von freiem Stickstoff geprüft wurden,

1) Spätere Versuche Hellriegels haben ergeben, dass diese Organismen sich nicht blos von Bodenaufgüssen auf die Pflanzen, sondern auch durch direkte Impfung von Pflanze auf Pflanze übertragen lassen.

2) Hellriegel benutzte von Nichtpapilionaceen Gerste, Hafer, Rüben und Buchweizen (später auch noch Raps und Sonnenblume), von Papilionaceen Erbsen, gelbe Lupinen, Serradella, Rotklee, Wicken und Pferdebohnen.

erheblich erweitert. Man hat gefunden, dass die in Rede stehende Assimilationsfähigkeit noch vielen zu den Papilionaceen gehörigen Gewächsen, aber auch einigen aus andern Familien zukommt; eine scharfe Trennung der Gewächse nach botanischen Merkmalen scheint sich also mit einer solchen nach der Fähigkeit, Stickstoff zu assimilieren, nicht vereinigen zu lassen.

Über die bei der Stickstoffassimilation wirksamen Mikroorganismen haben Beyerinck¹⁾, Nobbe²⁾, Prazmowski³⁾ und namentlich Winogradsky gearbeitet. Man hat die betreffenden Mikroorganismen als Bakterien erkannt, sie isoliert und genauer studiert⁴⁾.

Wohl das interessanteste Resultat aller dieser Arbeiten liegt darin, dass die Wurzelknöllchen, die man früher für normale eiweiss-erzeugende und eiweissaufspeichernde Organe der betreffenden Papilionaceen ansah, in Wirklichkeit Bildungen sind, die durch Symbiose zwischen den jugendlichen Wurzeln dieser Pflanzen einerseits und besonderen Bakterienarten andererseits zustande kommen.

Die Symbiose, das Zusammenleben mehrerer Organismen, kommt nach neuen Forschungen in der Natur ausserordentlich häufig vor. Man spricht nur dann von Symbiose, wenn beide Teile aus dem Zusammenleben Nutzen ziehen, während es sich andernfalls um ein Schmarotzerwachstum handelt.

Im vorliegenden Falle scheinen die betreffenden Mikroorganismen⁵⁾ ihre Nahrung aus dem Stärkemehl der Papilionaceenwurzel zu entnehmen, während diese für den Stärkemehlverlust reichlich entschädigt wird durch die Eiweissproduktion⁶⁾, die ihr der durch die Bakterien (aus der Bodenluft) assimilierte Stickstoff ermöglicht.

Es sind also nicht die höheren Pflanzen einer besonderen Familie selbst, die sich von allen andern grünenden Gewächsen

1) Botan. Zeitung 1888, Nr. 46—50.

2) Landw. Versuchsst., XXXVIII. 324 und XXXIX. 327.

3) Landw. Versuchsst., XXXVII. 161 und XXXVIII. 5. In einzelnen Punkten dieser hochwichtigen Assimilationsfrage würde Prazmowski die Priorität vor Hellriegel gebühren, wenn er nicht durch Krankheit an der rechtzeitigen Publikation verhindert worden wäre.

4) Versuche von Franck, nach denen den höheren Pflanzen ganz im allgemeinen die Fähigkeit zukommt, freien Stickstoff zu assimilieren, sind bisher von keiner Seite irgendwie bestätigt worden.

5) Nach den Beschreibungen Prazmowskis ist es übrigens noch zweifelhaft, ob man die betreffenden Organismen zu den Bakterien zu zählen hat.

6) Das Eiweiss ist bekanntlich ein viel wertvollerer Nährstoff als das Stärkemehl; während die Pflanze dieses einfach aus dem Kohlendioxyd der Luft produziert, braucht sie zur Eiweisserzeugung gewöhnlich stickstoffhaltiges Material, das sehr oft im Boden fehlt.

schroff durch die Fähigkeit unterscheiden, den elementaren Stickstoff der Atmosphäre zu assimilieren, sondern es hat sich bisher ausnahmslos bestätigt, dass der gasförmige Stickstoff für die Ernährung und den Aufbau von den höheren Pflanzen direkt nicht nutzbar gemacht werden kann.

Dagegen nimmt eine Reihe von niederen pflanzlichen Organismen hinsichtlich der Stickstoffassimilation eine Ausnahmestellung ein; diese Organismen sind zum Teil imstande, den freien Stickstoff der Atmosphäre aufzunehmen und zu verarbeiten. Aus dieser physiologischen Sonderstellung ziehen manche höhere Pflanzen, namentlich aus der Familie der Leguminosen, Vorteil, indem sie sich mit solchen Mikroorganismen symbiotisch vereinigen.

Sieht man ab von diesen Ausnahmen, die durch die grundlegenden Forschungen Hellriegels entdeckt sind, und die eine ausserordentliche Bedeutung für die Landwirtschaft haben¹⁾, so kann man zusammenfassen:

Der freie Stickstoff der Luft vermag die höhere grüne Pflanze nicht zu ernähren. Vielmehr sind hierzu im allgemeinen Salpetersäureverbindungen notwendig, die zum Teil auch durch Ammoniaksalze und einige Ammoniakbasen vertreten werden können.

Man kennt in der Natur einige Prozesse, durch die der atmosphärische Stickstoff direkt gebunden wird, so namentlich die Bildung von Salpetersäure beim Durchgange des elektrischen Funkens durch Luftschichten. Stehen so der Pflanzenwelt in der Natur ausser dem Bodenstickstoff noch gewisse Stickstoffmengen in dem Ammoniak und der Salpetersäure der atmosphärischen Niederschläge zur Verfügung, so ist doch andererseits erwiesen, dass diese letztere, die atmosphärische Stickstoffquelle den Anforderungen des normalen Wachstums bei weitem nicht Genüge leisten kann.

Von den Bestandteilen der atmosphärischen Luft treten nach allem Sauerstoff und Kohlendioxyd zur Pflanzenwelt hauptsächlich in Beziehung; dabei überwiegt die Aufnahme von CO_2 und Abgabe

1) Derartige durch Symbiose mit Mikroorganismen zur Ausnutzung des atmosphärischen Stickstoffes befähigte Pflanzen bezeichnet man in der Landwirtschaft als „bodenbereichernde Gewächse“.

Bei allen andern Pflanzen muss der Landwirt, um eine normale Ernte zu erzielen, eine gewisse Stickstoffmenge durch Düngung zuführen, oder aber er hat durch Einschaltung von bodenbereichernden Gewächsen in die Fruchtfolge für Stickstoffzufuhr zum Boden zu sorgen.

von O bei weitem gegenüber dem umgekehrten Vorgang der eigentlichen Pflanzenatmung, bei dem O aufgenommen, CO_2 ausgeschieden wird ¹⁾. Der Stickstoff tritt nur mit einer beschränkten Anzahl der höheren Pflanzen, und zwar durch Vermittlung von niederen Organismen, in Wechselwirkung. Schliesslich wurde auseinandergesetzt, dass auch Ammoniak und Salpetersäure aus der Luft — durch Vermittlung der atmosphärischen Niederschläge — für den Aufbau der Gewächse nutzbar gemacht werden.

Kurz sei hinzugefügt, dass die höheren Pflanzen aus der Feuchtigkeit der Atmosphäre im allgemeinen einen direkten Nutzen nicht ziehen. Die vielen Transpirationsöffnungen der Gewächse bewirken in gewissem Grade eine Wasserverdunstung, also eine Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes der Atmosphäre, aber es scheinen keine Organe zu existieren, die umgekehrt Wasserdampf aus der Luft aufsaugen könnten. Gegen diese Thatsache spricht keineswegs die Beobachtung, dass eine feuchte Atmosphäre eine verwelkte und dem Verdorren nahe Pflanze schnell wieder belebt und mit Feuchtigkeit sättigt. Denn es handelt sich hierbei nicht um eine Wasserzufuhr aus der Luft, sondern nur um den Schutz, der der Pflanze unter solchen Umständen gegen weitere Transpiration gewährt wird, und um die Möglichkeit für dieselbe, während dieser Zeit grössere Mengen flüssigen Wassers aus dem Boden aufzusaugen und anzureichern ²⁾.

Nachdem wir in früheren Abschnitten die Wärme der Luft in den Kreis unserer Betrachtungen gezogen haben, lässt es sich folgerichtig an dieser Stelle nicht umgehen, einen Blick auf den Einfluss der Wärme gegenüber der Pflanzenwelt zu werfen.

Da es sich bei den Lebenserscheinungen der Pflanze um physikalische Prozesse und um chemische Reaktionen handelt, so ist es ganz selbstverständlich, dass die Lebensvorgänge der Gewächse in engster Abhängigkeit von der herrschenden Temperatur stehen. Es ist festzuhalten — und zwar gilt dies ebenso auch für die Tiere — dass für jeden Organismus ³⁾ eine obere und eine untere Temperatur-

1) Träte die Pflanzenatmung nicht weit hinter den entgegengesetzten Vorgang des Gasaustausches zurück, so wäre als Gesamtergebnis eine Anreicherung kohlenstoffhaltiger, pflanzlicher Substanz unmöglich.

2) Gegenteilige Beobachtungen sind nicht sicher bewiesen, wenn man auch bei einigen Pflanzen, die auf dem nackten Fels gedeihen, an eine Wasseraufnahme aus der Luft glauben möchte.

3) Voraussetzung dabei ist, dass der Organismus gerade der Sitz von physiologischen Prozessen ist.

grenze existiert, bei deren Überschreitung die Lebenserscheinungen des Organismus zeitweise gestört werden oder dauernd aufhören.

Die untere Temperaturgrenze fällt im allgemeinen mit dem Gefrierpunkt des Wassers zusammen; denn wenn dieses — der grundlegende Bestandteil aller Organismen — nicht mehr flüssig ist, so fehlt ihm natürlich die Fähigkeit, seine zahlreichen Funktionen in der Pflanze zu erfüllen.

Als obere Temperaturgrenze liesse sich selbstverständlich derjenige Wärmegrad erklären, bei dem die organischen Bestandteile des lebenden (tierischen oder pflanzlichen) Individuums zersetzt werden und in weniger komplizierte Verbindungen übergehen. Aber für gewöhnlich liegt die Temperaturgrenze, oberhalb der die Lebenserscheinungen aufhören, viel tiefer; die Temperaturen, deren Überschreitung die physiologischen Vorgänge hemmt, sind für die einzelnen Organismen durchaus spezifisch und verschieden.

Verfasser selbst steht allerdings auf dem Standpunkte, dass es sich auch bei diesen physiologischen Störungen um chemische Zersetzungsvorgänge handelt, dass also bei Überschreitung der erwähnten Grenztemperaturen irgendwelche physiologisch wichtige Stoffe des Organismus — die nur bisher noch nicht im einzelnen erforscht sind — zerstört, d. h. in andere Verbindungen umgesetzt werden. —

Wie die Lebenserscheinungen der Pflanzen im allgemeinen von der Temperatur durchaus abhängig sind, so gilt dies ebenso auch für die einzelnen Lebensvorgänge, die Plasmaströmung, die Chlorophyllbildung, die Produktion organischer Substanz u. s. w.; alle diese Vorgänge gehen nur oberhalb gewisser Temperaturgrenzen und unterhalb anderer vor sich, und zwar sind diese Grenzen nicht nur für die einzelnen Lebensvorgänge, sondern auch für die einzelnen Pflanzenarten gewöhnlich verschieden ¹⁾.

Manche Pflanzen sind gegen niedere Temperaturen, andere wieder gegen hohe Temperaturen unempfindlich; für manche liegt das Temperaturoptimum da, wo andere ihre Funktionen schon einstellen. Im allgemeinen kann man sagen, dass die Pflanzen und Pflanzenteile gegen Temperaturänderungen um so empfindlicher sind, je mehr Energie die Lebensprozesse in ihnen aufzuweisen haben.

Werden die physiologischen Grenztemperaturen überschritten, so hat dies zwar das Aufhören aller vitalen Erscheinungen zur Folge, aber bei weitem nicht immer sogleich auch den Tod des Organismus; vielmehr tritt dieser in den meisten Fällen erst ein, wenn sich

1) In gewissen Grenzen lassen sich die Verschiedenheiten in dem Wärmebedarf der Pflanzen allerdings durch Züchtung und durch Gewöhnung beeinflussen.

innerhalb gewisser Zeit die normalen Wärmegrade nicht wieder einstellen. Festzuhalten ist, dass der pflanzliche Organismus gegen Temperaturunterschiede lange nicht so empfindlich ist wie das Tier.

Wichtig ist der besondere Fall des Erfrierens der Pflanzen, d. h. der Tod in Folge zu niedriger Temperaturen. Während die Tiere befähigt sind, ihre Wärmeproduktion den äusseren Umständen anzupassen, während so die Warmblüter trotz heftiger Temperaturschwankungen der Luft stets eine und dieselbe Körpertemperatur zeigen, ist bei den Pflanzen eine solche Anpassungsfähigkeit nur in sehr beschränkter Masse zu beobachten. Der einzige Regulator der Gewächse gegen Temperaturschwankungen ist die Verdunstung; aber Verdunstungserscheinungen können nur bei zu hoher Temperatur regulierend, also wärmeentziehend wirken, dagegen ist gegen zu starke Abkühlung der Pflanzen keine Vorkehrung getroffen. Über die Art und Weise, wie der Tod der Pflanzen durch Erfrieren vor sich geht, hat man viele Ansichten aufgestellt. Es sei hier nicht die Stelle, darauf näher einzugehen; es sei nur bemerkt, dass nicht nur die alte Ansicht „die Gefässwände würden durch das gefrierende Wasser mechanisch zersprengt“, sondern auch die spätere Meinung, „dass erst das Wiederauftauen der erfrorenen Pflanzen den Tod zur Folge habe“ auf Allgemeingültigkeit keinen Anspruch machen kann.

Wir fassen unter Anlehnung an Mayer (l. c.) die Beziehungen zwischen Pflanze und Temperatur in folgende Sätze zusammen:

1. Eine jede Pflanze muss sich zur Vollendung jeder einzelnen ihrer Lebenserscheinungen zwischen zwei Grenztemperaturen befinden, jenseit welcher die Erscheinungen aufhören.
2. Das Aufhören aller bekannten charakteristischen Lebenserscheinungen infolge Überschreitung jener Grenztemperaturen fällt noch nicht notwendig mit dem Tode der Pflanze zusammen. Wird innerhalb einer gewissen Zeit die erforderliche Temperatur wieder hergestellt, so kehren auch jene Lebenserscheinungen in vielen Fällen wieder zurück.
3. Beim Gefrieren der Pflanzen findet Ausscheidung von Eis in dem Zwischenzellgewebe statt, wodurch die Zellsäfte konzentriert werden, zuweilen auch nachteilige Gewebekerisierungen stattfinden. Die Erscheinung braucht nicht den Tod nach sich zu ziehen.
4. Der Tod der Pflanzen infolge zu niedriger Temperaturen, Erfrieren derselben, tritt erst bei solchen Temperaturen unterhalb Null ein, dass sich Eisbildung in der Pflanze nachweisen lässt. Das Erfrieren ist indessen nicht allein von der Eisbildung, sondern auch von der mehr oder weniger grossen

Ausdehnung derselben, und ausserdem auch abhängig von der noch nicht erklärten spezifischen Widerstandsfähigkeit des Protoplasmas. Man erklärt den Tod des Erfrierens aus der Konstitutionsänderung der Zellsäfte durch den Wasserverlust.

5. Der Tod der höheren Pflanzen infolge von hohen Temperaturen tritt im vegetativen Zustande meistens zwischen 50 und 60° ein.
6. Niedere Pflanzen sind zum Teil und namentlich gegen Frost unempfindlicher.
7. Trockne Pflanzenteile, in denen nur ein potenzielles Leben besteht, wie die Samen, sind gegen Kälte und Hitze sehr unempfindlich und können häufig ohne Nachteil bis nahe an oder selbst über den Kochpunkt des Wassers erwärmt werden; erfrieren können sie meistens nicht.

Von der Einwirkung des Lichtes auf die Pflanzenwelt wurde schon Seite 241 die wichtigste Thatsache erwähnt und des weitern ausgeführt, dass die Assimilationsfähigkeit des Chlorophylls an die Gegenwart von Lichtstrahlen geknüpft ist. Andere Beziehungen zwischen Licht und Pflanzenleben sind sicher konstatiert, treten aber gegen den erwähnten Prozess bei weitem zurück.

Ist somit das Licht eine der unerlässlichen Vegetationsbedingungen höherer Pflanzen, so hat man bisher für die elektrischen Kräfte und ihre Erscheinungen solche positive Beeinflussung der Vegetation nicht konstatieren können.

Zum Schlusse dieses Kapitels sei darauf hingewiesen, dass die atmosphärische Luft durch mancherlei anormale Beimengungen sehr schädlich auf die Vegetation wirken kann. Dies gilt namentlich von saueren und alkalischen Industriegasen, so in erster Linie von Chlorwasserstoff und noch mehr vom Schwefeldioxyd (schwefliger Säure).

Dass die letztere sich in mannigfaltigen technischen Grossbetrieben in ungeheurer Menge entwickelt und leicht in die Luft übertreten kann, wurde schon Seite 19 erwähnt. Es sind weniger Bleichereien, Alaun-, Glas-, Ultramarin- und Schwefelsäurefabriken, als namentlich die Hüttenwerke, die (bei Röstprozessen) grosse Mengen schwefliger Säure entsenden (Hüttenrauch). Auch Hopfenschwefeldarren entwickeln enorme Mengen von schwefliger Säure.

Über die Schädlichkeit der Säuredämpfe für den Pflanzenwuchs liegen zahlreiche Arbeiten ¹⁾ vor: Nicht besonders schädlich ist der erste Einfluss der schwefligen Säure auf die Gewächse; er besteht in einer Bleichwirkung, während das Schwefeldioxyd zu Schwefelsäure oxydiert wird ²⁾. Dann aber entfaltet die neu gebildete Schwefelsäure ihre zerstörenden Wirkungen; das Chlorophyll wird zersetzt, die Blätter werden braun und welken, der Saftstrom stockt — schwere Ernährungsstörungen treten in der Pflanze auf und können diese bis zum Tode erschöpfen.

Die grosse Schädlichkeit selbst geringer Mengen von Schwefeldioxyd und Schwefelsäure für die Vegetation ist hauptsächlich die Ursache davon, dass für alle Betriebe, in denen diese Gase zur Entstehung gelangen, seitens der Behörden eine peinlich genaue Kontrolle ausgeübt wird, um den Übergang dieser gasigen Schädlinge in die Atmosphäre zu verhindern.

Der schädliche Einfluss des Schwefeldioxydes auf die Pflanzenwelt hat eine weit grössere Bedeutung als die eigentliche Giftigkeit dieses Gases, d. h. als die Beeinflussung des Menschen. Die Pflanze wird eben noch durch SO_2 Mengen vernichtet, auf die der tierische Organismus gar nicht reagiert; auch sind gerade atmosphärische Schädigungen für die Vegetation besonders gefahrbringend, weil sie sich leicht über viel weitere Strecken ausdehnen, als dies im allgemeinen bei andern ungünstigen Einflüssen (z. B. vom Boden aus) der Fall ist.

D. Einfluss der Luft auf die Tierwelt.

(Hygiene der Luft.)

Aus Zweckmässigkeitsgründen soll hier nicht der Einfluss der Atmosphäre und der meteorologischen Faktoren auf die Tierwelt im allgemeinen behandelt werden, sondern Verfasser geht direkt die hygienischen Einflüsse der Atmosphäre, also ihre Einwirkung auf den Menschen durch. Es leitet ihn dabei die Erwägung, dass sich ohnehin daraus mancherlei Schlüsse für die Tierwelt, namentlich für die Warmblüter und im besondern

1) Fischer, Jahresbericht d. chem. Technologie 1880, 253; 1881, 173; 1882, 265; 1883, 273; 1884, 302. — Schröder und Reuss, Beschädigung der Vegetation.

2) Zu dieser Oxydation ist noch Wasser erforderlich, das sich aber selbstverständlich immer in der Pflanze findet.

für die Säugetiere, ziehen lassen, und anderseits der Gedanke, dass spezielle zoologische Betrachtungen kaum in den Rahmen dieser Monographie hinein gehören.

Der Mensch atmet täglich ungefähr 10 cbm Luft ein und giebt etwa die gleiche Menge gasförmiger Stoffe in derselben Zeit wieder von sich. Aber die Zusammensetzung der Ausatemluft ist weit- aus verschieden von der der eingeatmeten Luft; denn der Sauerstoff wird vom Blut aufgenommen und nutzbar gemacht, während das durch Oxydationsprozesse im Körper entstehende Kohlendioxyd durch die Lungen ausgeschieden wird und sich den Ausatemgasen beimischt. So scheidet der menschliche Organismus stündlich etwa 22 l Kohlendioxyd, also im Verlaufe eines Tages mehr als $\frac{1}{2}$ cbm dieses Gases aus. Der Gehalt der Expirationsluft an Kohlendioxyd berechnet sich infolgedessen auf mehr als 5 %.

Die äusserst geringen Schwankungen im Prozentgehalt der Atmosphäre an Sauerstoff (vgl. Seite 7) sind hygienisch gänzlich bedeutungslos. Dagegen kann die absolute Menge des eingeatmeten Sauerstoffes durch starke Luftdruckabnahme erheblich und bedenklich vermindert werden. Derartige Verhältnisse treten auf hohen Bergen und im Luftballon ein, wie dies schon Seite 44 und 45 erörtert wurde; wir kommen darauf später bei der Besprechung des Einflusses von Luftdruckschwankungen zurück.

Das Kohlendioxyd hat nicht spezifisch giftige, sondern nur „erstickende“ Wirkungen, indem es den zur Atmung nötigen Sauerstoff verdrängt. Von einem direkt schädlichen Einfluss derjenigen Kohlendioxydmengen, die im allgemeinen in der atmosphärischen Luft vorkommen, kann man wohl nicht sprechen. Denn das Kohlendioxyd beginnt schädliche Wirkungen erst in grossen Mengen zu zeigen; ein Gehalt der Luft von 1 % CO_2 wird lange Zeit, ein solcher von 5—10 % vorübergehend ohne Gesundheitsstörung ertragen. Selbst wenn mit einer derartigen CO_2 Ansammlung, wie sie durch Atmung, Heiz- und Beleuchtungsprozesse in geschlossenen Räumen möglich ist, gleichzeitig eine Verminderung des Sauerstoffgehaltes verbunden ist, gehört schon eine Zunahme um mehrere Prozent CO_2 und eine Abnahme um mehrere Prozent O dazu, unzweifelhafte Krankheitserscheinungen hervorzurufen.

Trotzdem wirkt schon der längere Aufenthalt in solchen Räumen schädlich, deren Luft durch Atmung und Verbrennung 2—5 pro % Kohlendioxyd aufgenommen hat. Aber man kann diese Beeinflussung nicht dem Kohlendioxyd selbst zuschreiben, sondern muss dies auf andere Momente zurückführen, auf die zum Teil giftigen, teils übelriechenden Gase, die gleichzeitig mit dem Kohlendioxyd entstehen

(vgl. Seite 23); vielleicht ist auch die in Schlafsälen, Kasernenstuben u. s. w. vor sich gehende erhöhte Produktion von Wärme und Wasserdampf an den geschilderten Einflüssen beteiligt.

Kann man dem Kohlendioxyd — wenigstens in den gewöhnlich möglichen Mengen — eine direkte Schädlichkeit nicht zusprechen, so darf doch der Gehalt der Atmosphäre an CO_2 als ein sehr guter Massstab für die Luftbeschaffenheit gelten. Denn es hat sich gezeigt, dass bei der Ansammlung, Atmung und Ausdünstung von Menschen das Kohlendioxyd nicht nur gleichzeitig mit den andern schädlichen Gasen und Dämpfen entwickelt wird, sondern dass diese Entwicklung auch parallel, also in ungefähr gleichem Massstabe vor sich geht, wie die Produktion der hygienisch bedenklichen Luftverunreinigungen.

Welcher Art diese mehrfach genannten, eigentlich schädlichen Luftverunreinigungen sind, das hat man, wie gesagt, noch nicht genauer erforschen können.

Dass es nicht die bekannten giftigen Gase wie Schwefelwasserstoff, Schwefeldioxyd u. s. w. sein können, die dabei wirken, ist selbstverständlich, denn sie alle sind in der Verdünnung, wie sie in der Atmosphäre vorkommen, gänzlich unschädlich.

„Man¹⁾ hat dann weiter die Annahme gemacht, dass mit den bekannten Fäulnisgasen oft unbekannt giftige Gase in die Luft übergehen, die selbst in ausserordentlicher Verdünnung noch wirksam sind. Eine solche Möglichkeit ist nicht ganz auszuschliessen; aber es ist immerhin unwahrscheinlich, dass flüchtige Ptomaine von so intensiver Giftigkeit existieren, und jedenfalls muss dann die individuelle Empfänglichkeit gegen diese Gifte sehr verschieden, und eine Gewöhnung an dieselbe sehr leicht sein. Denn wir sehen, dass Kanalarbeiter, Abdecker, überhaupt die meisten Menschen aus den untern Volksschichten, völlig gleichgültig sind gegen übelriechende und durch Fäulnisgase u. s. w. verunreinigte Luft, und dass sie ohne Schaden für ihre Gesundheit geradezu mit einem gewissen Behagen sich innerhalb ihrer Kleidung und Wohnung eine mit übelriechenden Zersetzungsgasen imprägnierte Luft herstellen.

Oder man hat drittens wohl geglaubt, dass manche infektiöse Krankheiten — Malaria, Typhus — auf riechende Gase, sogenannte *Miasmen*, zurückzuführen seien. Diese Anschauung muss jedoch jetzt als entschieden irrtümlich zurückgewiesen werden. Ein Gift kann nur Intoxikationen, aber keine Infektion bewirken; diese hervorzurufen sind ausschliesslich lebende Organismen befähigt. Auch für die Malaria, welche früher als exquisiteste miasmatische Krankheit angesehen wurde, ist in neuerer Zeit nachgewiesen, dass

1) Aus Flügge l. c.

sie vom Kranken aus weiter übertragen werden kann und dass also auch hier vermehrungsfähige Organismen die Ursache sind.

Die Miasmen-Hypothese hat vielfache Verwirrung gestiftet. Noch heute sehen viele Ärzte in übeln Gerüchen die Ursachen von Infektionen. Aber der Zusammenhang zwischen Infektionserregern und stinkenden Gasen ist nur ein ganz entfernter und lockerer. Die Infektionserreger selbst produzieren bei ihrem Wachstum keine oder wenig intensive Gerüche; stärker riechende Gase deuten stets auf die Anwesenheit von lebhaft wuchernden Saprophyten, welche der gleichzeitigen Ansiedlung pathogener Organismen feindlich sind und diese meist nicht aufkommen lassen. Riechende Gase werden ferner nur von flüssigen und feuchten, eine rege Lebensthätigkeit der Bakterien gestattenden Substraten geliefert; von diesen aus verbreiten sich aber mit Luftströmungen keine Organismen, sondern erst dann, wenn die Substrate austrocknen und das Bakterienleben und die Produktion übelriechender Gase aufhört, ist die Gefahr vorhanden, dass in die Luft Mikroorganismen übergehen. Es ist also entschieden unzulässig, übele Gerüche als direkte Ursache einer Infektion aufzufassen und den Ausbruch einer Infektionskrankheit mit dem Hinweis auf irgend welche Fäulnisgase u. dgl. zu erklären.

Endlich hat man wohl die Ansicht geäußert, dass durch die Aufnahme übelriechender Gase eine individuelle Disposition zu Infektionskrankheiten geschaffen werde. Weder experimentell noch statistisch sind aber in dieser Richtung Thatsachen ermittelt, welche einwandfrei auf eine solche vorbereitende Rolle der genannten Gase gedeutet werden dürften. Dagegen machen wir bei zahlreichen Individuen die Erfahrung, dass selbst langdauernde Einatmung verunreinigter Luft keine gesteigerte Empfänglichkeit für Infektionskrankheiten hinterlässt.“

Alles in allem scheint es hauptsächlich das Ekelgefühl zu sein, das sich einer solchen „verbrauchten“ Luft gegenüber geltend macht und das vielleicht des weitern eine sehr oberflächliche — und auf die Dauer ungenügende — Atmung veranlasst.

Der Stickstoff dient, wie schon mehrfach erörtert wurde, nur zur Verdünnung des Sauerstoffes; für sich allein würde letzterer die Atmungsorgane stark angreifen und bald zerstören.

Ozon und Wasserstoffsperoxyd sind, worauf auch schon hingewiesen ist, in den vorkommenden Mengen ebenfalls ohne jede hygienische Bedeutung. Dasselbe gilt für die Spuren von Ammoniak,

salpetriger Säure und Salpetersäure, wie sie in der Atmosphäre vorkommen¹⁾.

Die Giftigkeit des Schwefelwasserstoffes und des Kohlenoxydes wurde schon Seite 20/22 erörtert. Die schweflige Säure ist nicht ganz so giftig wie die beiden vorgenannten Gase, aber ihre Giftigkeit ist doch bei weitem unterschätzt worden. Während Hirt²⁾ offenbar unrichtig angiebt, dass Arbeiter sogar in einer Arbeitsluft, die 1—3 ‰ Schwefeldioxyd enthält, lange Zeit völlig gesund bleiben, zeigte M. Ogata³⁾, dass ein Gehalt von 0,04 ‰ SO₂ nach einigen Stunden Atemnot bewirkt. Ihm selbst war es nicht möglich, in einer Luft mit 0,05 ‰ schwefliger Säure einen vollen Atemzug zu thun. In Luft mit 0,06 ‰ SO₂ starben Mäuse schon nach 2 Stunden. Die schweflige Säure ist ein heftiges Blutgift. Auch die durch Oxydation der SO₂ entstehende Schwefelsäure wirkt schädlich.

An sonstigen schädlichen Gasen, wie sie durch technische Einflüsse zu hygienisch bedeutsamen Verunreinigungen der Atmosphäre werden können, sind dann hauptsächlich noch Ammoniak, Chlor und Chlorwasserstoff (Salzsäure) zu nennen.

Was das Ammoniak anlangt, so veranlasst⁴⁾ schon eine Luft, die über 3 Teile Ammoniak auf 10 000 Teile Luft enthält, Vergiftungserscheinungen; bei 0,6 ‰ trat der Tod von Tieren zuweilen schon nach 1½ Stunden ein. Durch Gewöhnung können Menschen 0,03—0,05 ‰ Ammoniak vertragen; bei grösserem Gehalt zeigen sich aber stets Brechreiz und Entzündungserscheinungen.

Auch die Giftigkeit des Chlors und Chlorwasserstoffes ist in dem oben citierten Hirt'schen Werk über Gasinhalationskrankheiten viel zu niedrig angegeben. K. B. Lehmann⁵⁾ fand, dass sich schon bei einem Gehalt von 0,01 ‰ Salzsäuregas in der Luft Reizerscheinungen einstellen; bei 0,1—0,15 ‰ sterben Tiere in wenigen Stunden. Ein kräftiger Mann fand die Luft bereits bei 0,005 ‰ Chlorwasserstoff unerträglich.

Wir wenden uns zu dem Einflusse, den der Wasserdampfgehalt der Luft auf den Organismus ausübt. Dieser Einfluss ist teils direkt, teils indirekt. Direkt insofern, als einzelne Körperfunktionen, zumal die Abgabe von Wasserdampf aus dem Körper

1) Dabei wird selbstverständlich von Einflüssen technischer Betriebe abgesehen.

2) Hirt, Krankheiten der Arbeiter; Gasinhalationskrankheiten.

3) Arch. f. Hygiene 1884, 223.

4) Nach Blücher, Gifte und Vergiftungen.

5) Arch. f. Hygiene 1886, 16.

und hierdurch auch die Abgabe von Wärme, unmittelbar von der Feuchtigkeit der Luft abhängen. Indirekt insofern, als die Luftfeuchtigkeit verschiedene für den Menschen wichtige Faktoren, wie den Boden, die Vegetation, die Tierwelt, die Mikroorganismen, grundlegend beeinflusst.

Zur Orientierung sei bemerkt, dass der Mensch im Tag durchschnittlich 1800 g Wasser ausscheidet, wovon die Hälfte in Dampf-Form, die andere Hälfte in flüssiger Form (im Harn und Kot) den Körper verlässt. Ist die Verdampfung behindert, so steigt die Menge des im Harn ausgeschiedenen Wassers; umgekehrt wird bei reichlicher Verdunstung nur wenig Harn ausgeschieden. Von den 900 g Wasserdampf werden durchschnittlich¹⁾ 250 g durch die Lunge, 650 g durch die Haut abgeschieden. Bei hoher Aussentemperatur und starker körperlicher Bewegung erhöht sich die Wasserdampfabgabe beträchtlich.

Was die Beziehungen zwischen dem Wasserdampf in der Luft und der Wasserdampfabgabe des Körpers betrifft, so sind dieselben verschieden für die absolute Feuchtigkeit, die relative Feuchtigkeit und das Sättigungsdefizit. Wir erinnern an unsere Ausführungen auf Seite 12 und Seite 56 ff. und lehnen uns bei den folgenden Betrachtungen teilweise an das Flüggesehe Lehrbuch an.

1. Die Ausatemluft hat im Mittel 36—37° C. Wärme (Körpertemperatur) und ist mit Wasserdampf völlig gesättigt; sie enthält demnach auf 1 cbm ungefähr 41 g Wasserdampf. Die Menge des von der Lunge aus verdampften Wassers muss also einfach der Differenz zwischen diesen 41 g und der absoluten Luftfeuchtigkeit entsprechen. Zeigt beispielsweise die Luft eine absolute Feuchtigkeit von 11 g pro Kubikmeter, so scheiden die Atmungsorgane in jedem Kubikmeter Ausatemluft 30 g Wasser aus. Daraus lässt sich die stündliche Wasserdampfabgabe durch die Lungen berechnen, wobei man annimmt, dass in der Stunde 375 l Luft die Lungen passieren.

Die Wasserabgabe seitens der Lungen hängt also direkt von der absoluten Feuchtigkeit ab. Da aber die Ausatemluft immer eine konstante — durchschnittlich im Verhältnis zur Atmosphäre höhere — Temperatur hat, so verhalten sich die Lungen ganz anders wie sonst Flächen, von denen aus Verdunstung stattfindet: Die Wasserabgabe von den Lungen ist am höchsten bei geringer absoluter Feuchtigkeit, also vor allem bei niedriger Temperatur. „Bei kalter, aber feuchter,

1) Vorausgesetzt sind dabei eine Temperatur von 15° C. und 75 % relativer Feuchtigkeit. In warmen Klimaten wird weniger Wasserdampf durch die Lunge, mehr durch die Haut ausgeschieden.

mit Wasserdampf gesättigter, oder gar übersättigter, nebeliger Luft ist diese Wasserabgabe immer noch weit grösser, als bei warmer, aber nur zu einem Drittel gesättigter und daher im übrigen stark austrocknender Luft.“ Dass wir im allgemeinen die Schwankungen in der Wasserabgabe der Lungen wenig bemerken, liegt daran, dass die Menge dieser Abgabe doch nur einen geringen Bruchteil der gesamten Wasserausscheidung des Körpers ausmacht. — Den Grad der Lufttrockenheit bemessen wir im allgemeinen teils nach der Wasserabgabe von der Haut, teils nach dem Zustand der Schleimhäute des Mundes und Rachens, teils auch nach dem Einfluss auf unsere Umgebung.

In gewissem Grade beeinflusst die absolute Feuchtigkeit der Aussenluft auch die Wasserabgabe von den bekleideten Hautstellen, derart dass bei fester Kleidung um so mehr Wasser an den bedeckten Hautstellen verdunstet, je kälter die Luft und je geringer ihre absolute Feuchtigkeit ist ¹⁾.

2. Die relative Feuchtigkeit kommt insofern für die Wasserabgabe des Körpers kaum in Betracht, als die unvermeidlichen Temperaturschwankungen der Luft im Freien und in geschlossenen Räumen den Faktor der relativen Feuchtigkeit sehr erheblich beeinflussen; mindestens kann man aus dem genannten Grunde keine festen Beziehungen zwischen der relativen Feuchtigkeit und der Wasserabgabe des Körpers aufstellen.

Dagegen ist eine indirekte Beziehung zwischen beiden genannten Faktoren nicht zu leugnen. Die relative Feuchtigkeit beeinflusst nämlich die Wassermengen, die hykroskopisch von den Kleidungsstücken absorbiert werden. Diese Wassermenge kann z. B. für die Kleidung eines Mannes je nach der relativen Feuchtigkeit der Atmosphäre um 300—500 g schwanken.

3. Die Verdunstung von den unbedeckten Hautstellen sowie von den Schleimhäuten des Mundes, Rachens und der Nase ²⁾ hängt von dem Sättigungsdefizit der Aussenluft ab. Derselbe Faktor beherrscht ganz im allgemeinen die Wasserabgabe von der Haut, wenn lockere Kleidung und stärkere Luftbewegung eine lebhaftere Hautventilation ermöglichen. Aus diesem Grunde hängt in warmen Klimaten die gesamte Wasserdampfabgabe des Körpers oft zumeist vom Sättigungsdefizit ab.

1) Daraus erklärt sich z. B. die starke Durstempfindung, worüber die Polarreisenden klagen.

2) Atmet man mit offenem Munde, so geht ein Teil der Wasserverdunstung von den Lippen und der Mundschleimhaut vor sich, während die Atmung bei geschlossenem Munde diesen Vorgang auf die Schleimhäute der Nase verlegt.

Sehr niedriges Sättigungsdefizit, verbunden mit hoher Lufttemperatur, kann die Wärmeabgabe in bedenklicher Weise einschränken. Ist sehr niedriges Sättigungsdefizit mit niedriger Temperatur vereint, so ist auch dies bedenklich, weil schon bei der geringsten Abkühlung Wasser kondensiert wird, also leicht Kleidung und Wohnung durchfeuchtet wird.

„Starkes Sättigungsdefizit ist bei hoher Temperatur und in heissen Klimaten im ganzen willkommen, indem es die Wärmeabgabe ausserordentlich erleichtert. Nur wenn sich zu hoher Lufttemperatur und starkem Sättigungsdefizit noch lebhaftige Luftbewegung hinzu gesellt, resultiert leicht eine äusserst lästige Austrocknung der Haut und der Schleimhäute und eine nervöse Reizbarkeit des Körpers. In ausgesprochenem Grade führen der Chamsin ¹⁾, der Sirokko, der Fön u. s. w. zu solchen Symptomen. Auch in unserm Klima kommen ähnliche Wirkungen zustande, wenn im Frühjahr oder Sommer anhaltend heftige Ostwinde wehen. Ein Sättigungsdefizit von 12—16 mm ruft dann bereits bei den meisten Menschen Belästigungen hervor, während das gleiche Defizit bei ruhiger Luft noch gut ertragen zu werden pflegt.“

Es sei hinzugefügt, dass in unsern Wohnungen während der Heizperiode ein Sättigungsdefizit von 12—20 mm nicht selten ist. Es liegt jedenfalls an dem Fehlen stärkerer Luftströmungen, dass trotzdem gewöhnlich schroff austrocknende Eigenschaften der Zimmerluft nicht wahrgenommen werden.

Hinsichtlich der indirekten Beziehungen zwischen dem Wasserdampf der Luft und dem Organismus kommt allein das Sättigungsdefizit in Betracht. Hiervon hängt die Vegetation, hiervon das Austrocknen von Bauten u. s. w. ab. Bei starkem Sättigungsdefizit wird die Bodenoberfläche trocken, und die Winde wirbeln reichliche Staubmassen auf. Gehen mit zunehmendem Sättigungsdefizit auch die Mikroorganismen meistens zu Grunde, so bleiben doch die widerstandsfähigen Dauerformen, die mit dem übrigen Luftstaub emporgewirbelt werden und so auf den Körper zur Einwirkung gelangen können. „Die stärkste Austrocknung des Bodens erfolgt, wenn stärkere Winde eine Luft von hohem Sättigungsdefizit begleiten. Dann wird die Luft ständig von grossen Staubmassen erfüllt, wie es z. B. bei den Ostwind-Perioden unseres Sommers, in viel höherem Grade aber noch beim Chamsin und Sirokko der Fall ist, deren belästigende Wirkung nicht zum kleinsten Teile durch diese Staubbeimengungen bedingt wird.“

1) Vgl. Seite 59 und 61.

Die Beimengungen von Staub werden in der freien Luft selten so erheblich, dass dadurch mehr als vorübergehende Belästigungen bedingt würden. Jedoch gilt dieser Satz nur, so lange man allein die unorganisierten Staubpartikel im Auge hat.

Dagegen kommen in geschlossenen Räumen und ganz besonders bei vielen Gewerbebetrieben ausserordentlich starke Staubentwicklungen in Betracht, wobei die besondere Natur dieses Staubes die Schädigungen noch erheblich vermehrt. Die Staubteilchen lagern sich dann in den Bronchialdrüsen und in den feinen Kanälen des Lungengewebes ab, wo sie teils chronischen Bronchial- und Lungenkatarrh hervorrufen, teils auch noch weit schwerere chronische oder auch akute Schädigungen zur Folge haben.

Wir nennen nur ganz kurz die wichtigsten dieser Staubinhalationskrankheiten, weil für eine breitere Behandlung diese Monographie kaum geeignet scheint.

Die Siderosis (Eisenlunge) wird verursacht durch Einlagerung feiner Eisenoxydteilchen; dabei ist nicht nötig, dass das Eisenoxyd immer als solches eingeatmet ist, sondern es kann auch als Metall oder Oxydul aufgenommen worden sein und sich nach der Einlagerung oxydiert haben. Die Siderosis findet sich bei Schmieden und Schlossern, weiter namentlich bei Feilenhauern, bei Glaspolierern ¹⁾, bei Arbeitern, die Goldschlägerpapier bereiten ²⁾, bei Metallschleifern ³⁾, bei den Arbeitern in Ockergruben, bei Maurern ⁴⁾ u. s. w.

Besondere Gefahren birgt der Schleifstaub wegen seinen scharfspitzigen, steinernen Beimischungen. Dasselbe gilt von dem Quarzstaub, der u. a. beim Zerkleinern der Materialien zur Glas- und Porzellanfabrikation entwickelt wird.

Weniger gefährlich scheint die Anthrakosis, die Kohlenlunge zu sein, bei der sich meistens die Erscheinungen auf einen chronischen Katarrh der Atmungsorgane beschränken. Die Kohlenlunge findet sich bei Bergleuten, Schornsteinfegern, Kohlenträgern, Heizern, Bleistiftarbeitern ⁵⁾, Formern und Giessern ⁶⁾.

1) Das Polieren des Glases geschieht mit Englischrot, d. h. mit gepulvertem Eisenoxyd.

2) Bei der Bereitung des Goldschlägerpapieres entstehen ausserordentlich beträchtliche Massen von feinstem Eisenoxydstaub.

3) Beim Schleifen der Eisen- und Stahlwaren kommt ein aus Eisen- und Steinteilchen gemischter Staub zur Wirkung. Besonders berüchtigt ist der Staub, der in den Nadelschleifereien entsteht.

4) Maurer und Steinträger leiden unter dem Staub der Mauersteine, die aus eisen- und kalkhaltigem Thon oder Lehm bestehen.

5) Bei den Bleistiftarbeitern wird der Kohlenstoff in Form des Graphits aufgenommen, aus dem die Bleistifte bestehen.

6) Die Formen für den Metallguss werden meistens mit Graphit ein-

Durch Einlagerung von Tabakstaub in die Lunge entstehen chronische Erkrankungen nicht gar selten bei Tabaksarbeitern, namentlich bei solchen, die mit dem Sortieren der trocknen Blätter, mit dem Mahlen und Sieben beschäftigt sind.

Ferner kommen Erkrankungen vor durch den feinen Holzstaub in Sägemühlen, durch den Mehlstaub der Kunstmühlen u. s. w.

Gefährlicher als diese scheinen die faserigen Staubarten zu sein, wie sie in Baumwollspinnereien, in Tuchscheerereien, bei der Fabrikation von Filzhüten u. s. w. entstehen und nicht selten zu schweren Erkrankungen führen.

Die Gefahren dieser und anderer gewerblicher Staubinhalationen können übrigens durch geeignete Vorrichtungen ausserordentlich eingeschränkt werden, und es sind die in dieser Hinsicht neuerdings von allen Kulturstaaten erlassenen Vorschriften nur mit Freude zu begrüssen.

Besondere Gefahren bieten Staubeinatmungen, bei denen der Staub giftig oder mit organisierten Infektionserregern beladen ist. Zu der ersten Gruppe gehören Blei, Bleiweiss, Zinkweiss, Arsenik, die bei manchen Betrieben in grossen Massen verstäubt werden, dann Hasenhaare, die mit Quecksilbersalzen ¹⁾ getränkt sind, u. s. w.

Infektiöser Staub, also solcher, der mit Krankheitserregern beladen ist, wird namentlich den Lumpensammlern und Trödlern, den Lumpensortiererinnen der Papierfabriken, Rosshaararbeitern, Kürschnern, Gerbern, Fellpackern, weiter den Arbeitern in Kunstwollefabriken und in Bettfederreinigungsanstalten gefährlich.

Unter den Bestandteilen des atmosphärischen Staubes haben die lebensfähigen Mikroorganismen die grösste Bedeutung zu beanspruchen. Dass dennoch die Gefahr einer Luftinfektion — wenigstens soweit die Luft im Freien in Betracht kommt — viel geringer ist als gewöhnlich angenommen wird, erklärt sich aus den Ausführungen auf Seite 33—36. „In der freien atmosphärischen Luft wird es entschieden zu den seltenen Ausnahmen gehören, dass jemand lebensfähige infektiöse Organismen einatmet. In unmittelbarer Nähe von Pockenhospitalern sind solche Infektionen beobachtet; aber schon in einer Entfernung von wenigen

gepulvert; eine besondere Sorte von Gussstahl wird aus Graphittiegeln gegossen.

1) Einzelne dieser Gifte gefährden die betreffenden Arbeiter auch direkt in Dampf form. Namentlich das Quecksilber ist es, dessen Dämpfe bei den Arbeitern der Spiegelbelege die schwersten Erkrankungen hervorrufen.

Metern, in benachbarten Strassen mit freier Luftbewegung scheint nach allen Erfahrungen eine Infektion nicht mehr vorzukommen, sondern nur solche Personen, welche mit Kranken verkehrt oder das Haus eines Pockenkranken betreten haben, setzen sich dieser Gefahr aus. Ebenso werden die Erreger von Scharlach, Masern, Flecktyphus, denen wir die Fähigkeit durch die Luft verbreitet zu werden, zweifellos zuerkennen müssen, so gut wie niemals aus der freien Luft aufgenommen, sondern nur im direkten oder indirekten Verkehr mit den Kranken. Auch Tuberkelbacillen konnten im städtischen Strassenstaub nicht nachgewiesen werden, weil offenbar die Verdünnung selbst dieser relativ sehr reichlich produzierten und in der Luft sich lange lebensfähig haltenden Bacillen zu bedeutend ist.“

In erhöhtem Grade gilt dies von den Erregern der Diphtherie und des Unterleibstyphus, während man für die Malaria (Wechselfieber) und wohl auch für die Influenza hauptsächlich eine Verbreitung durch die Luft anzunehmen hat. Die übrigen pathogenen Mikroorganismen werden jedenfalls nur höchst selten in der freien Luft in lebensfähigem Zustande vorhanden sein, vielleicht allein abgesehen von den weitverbreiteten Eiterkokken.

In geschlossenen Räumen liegt die Sache allerdings ganz anders; hier finden sich aufgewirbelte pathogene Mikroorganismen gar nicht selten, besonders wenn die Luft des Raumes durch Hantierung mit infizierten Betten, Kleidern oder Möbeln in starke Bewegung versetzt ist. Wir erinnern an unsere Ausführungen auf Seite 36/37 und wiederholen von dort, dass staubige Luft in geschlossenen Räumen weit bedenklicher ist und gesundheitsschädlicher wirken kann als übelriechende Luft.

Von grosser hygienischer Wichtigkeit ist die Temperatur.

Zu hohe Temperatur kann schwere akute Erkrankungen hervorrufen, wie man sie unter dem Namen Hitzschlag und Sonnenstich zusammenfasst; nicht selten tritt dabei schnell der Tod ein. Die Ursache des Hitzschlages liegt in übermässiger Steigerung der Körperwärme. Eine solche Steigerung hängt weniger von der absoluten Temperatur der Luft ab, als vielmehr von Faktoren, die den Organismus hindern, durch entsprechende Wärmeabgabe seine Eigentemperatur zu regulieren. Demgemäss kommt Hitzschlag dann vor, wenn die Luft sehr ruhig und fast mit Feuchtigkeit gesättigt ist; begünstigend wirken starke körperliche Arbeit, reichliche Nahrung, ungenügende Zufuhr von Getränken, Gebrauch von Spirituosen und enge, warme Kleidung.

Genau genommen darf der Sonnenstich nicht mit dem Hitzschlag zusammengeworfen werden, wenn man auch in der Praxis meist Verwechslungen zwischen beiden Begriffen begegnet. Will man die Unterschiede präzisieren, so muss man sagen, dass der Hitzschlag bei einer allseitigen Hemmung der Wärmeabgabe, der Sonnenstich dagegen bei zu starker Erhitzung des Körpers durch intensive Sonnenstrahlung zustande kommt. —

Auch chronische Erkrankungen kommen durch länger andauernden Einfluss hoher Lufttemperaturen zustande. Indirekte Schädigungen durch abnorme Wärmegrade sind insofern möglich, als dadurch die Vermehrung aller möglichen Mikroorganismen gefördert wird, sei es nun, dass solche an sich pathogen sind, oder sei es, dass dieselben zum Verderben mancher Nahrungsmittel beitragen und in diesen die gefährlichen Zersetzungsgifte (Ptomaine) bilden.

Ebenso wie zu hohe, so kann auch sehr niedrige Temperatur bedenkliche Wirkungen äussern, wenn auch im allgemeinen Hitze schlechter ertragen wird als Kälte. Letztere wird überhaupt kaum gefährlich, sofern der Körper durch entsprechende Kleidung, Ernährung und starke Bewegung die abgegebene Wärmemenge fortwährend wieder ersetzt.

Gefahren treten ein, wenn einer der genannten Faktoren nicht genügenden Einfluss ausüben kann, so z. B. im Schlaf, bei mangelhafter Ernährung, bei zu leichter Kleidung u. s. w. In solchen Fällen kommt es zum Erfrieren einzelner Körperteile, wobei das betroffene Gewebe abstirbt; schwere Schädigungen der Gesundheit sind dann die Folge, wenn nicht überhaupt der Tod eintritt.

Herrscht Windstille, so ist die Gefahr des Erfrierens weit geringer, als bei stark bewegter Luft. Im übrigen ist diese Gefahr viel grösser und selbst bei verhältnismässig geringer Kälte vorhanden, wenn die Nacht klar ist; denn in diesem Fall ist die Wärmeabstrahlung sehr bedeutend (vgl. Seite 53 und 120).

Wirkt mässige Kälte längere Zeit auf den Körper, so kommt es nur dann zu Krankheiten, wenn die Nahrungsaufnahme oder die Bekleidung ungenügend ist.

Von grosser hygienischer Bedeutung sind die Schwankungen der Lufttemperatur. An sich sind ja Temperaturschwankungen nötig, um verschiedene Körperfunktionen normal zu erhalten, und man kann ein Klima, dem solche Schwankungen fehlen, für hygienisch bedenklicher halten, als ein solches, das sehr bedeutende Temperaturdifferenzen aufweist. Aber wenn auch die Schwankungen der Lufttemperatur dem normalen Organismus nicht gefährlich werden können, so ist hierfür doch Voraussetzung, dass die Reguliervorrichtungen

des Körpers in richtiger Thätigkeit sind. Trifft diese Voraussetzung nicht zu, so kommt es zu den weit verbreiteten Erkältungskrankheiten. Zu solchen Erkältungskrankheiten geben vornehmlich Veranlassung:

Heftige kühle Winde; weiter plötzliche und starke Temperaturschwankungen (nach oben und nach unten); dann anhaltend feuchte Luft und sehr ausgiebige Niederschläge¹⁾.

Die Windstärke beeinflusst in erheblichem Grade die Wärme und Wasserdampfabgabe des Körpers, derart dass starke Winde durch übermäßige Wärmeentziehung schädlich wirken können. Die direkt zerstörende Gewalt heftiger Stürme und Orkane kommt für unsere Breiten — wenigstens was das Festland anlangt — nur wenig in Betracht. Wichtiger ist die durch den Wind bewirkte Staubaufwirbelung; dabei können unter Umständen organisierte Krankheitserreger sowie unorganisierte Gifte mit verbreitet werden.

Günstig wirken die Winde dadurch, dass sie die Luftschichten vermischen und beigemengte Verunreinigungen schnell fortführen und verdünnen. Dieser reinigende Einfluss der Luftströmungen erstreckt sich auch auf unsere Wohnräume.

Was die atmosphärischen Niederschläge anlangt, so kann man von einer schädlichen Einwirkung nur insofern reden, als dadurch eine Durchfeuchtung der Kleidung und des Schuhwerkes eintritt, die ihrerseits Erkältungen veranlassen kann. Abgesehen hiervon müssen die atmosphärischen Niederschläge hygienisch durchweg günstig beurteilt werden. Denn mit ihnen vollzieht sich eine durchgreifende Reinigung der Luft, indem Staub, schädliche Gase und Dämpfe, sowie Mikroorganismen niedergeschlagen werden. Im übrigen bedarf es keiner Erwähnung, dass die Niederschläge für die Vegetation und damit indirekt auch für den Menschen von erheblicher Bedeutung sind.

An dieser Stelle sei noch kurz der hygienischen Bedeutung des Lichtes und der Elektrizität gedacht:

Es hat sich gezeigt, dass das Tageslicht sowohl auf die körperlichen Funktionen, als besonders auf den Seelenzustand des Menschen einwirkt. Lichtmangel ist jedenfalls von ungünstigem Einfluss, wie man dies bei den Teilnehmern an Polarexpeditionen während der Monate dauernden Polarnacht beobachten konnte. Indirekt beeinflusst das Licht insofern das Wohlbefinden des Menschen, als es auf die Lebens-

1) Die dahin gehörigen rein klimatischen Einflüsse sind hier nicht erörtert.

thätigkeit der Mikroorganismen vernichtend und hemmend einwirkt. Die Erreger ansteckender Krankheiten gehen durch starke Belichtung zum Teil zu Grunde, zum Teil verlieren sie ihre pathogenen Eigenschaften. Bei Lichtmangel dagegen verkümmern die höhern, chlorophyllhaltigen Gewächse, während sich die Bakterien in tippiger Vermehrung befinden. —

Über die hygienische Bedeutung der Lufterlektrizität hat man sich bisher noch keine feste Ansicht gebildet. Nervöse Personen scheinen durch höhere Spannung in der Atmosphäre ungünstig beeinflusst zu werden. Die direkten Gefahren durch die atmosphärische Elektrizität, also durch den Blitzschlag, sind verhältnismässig nur gering. Flügge schreibt: „Todesfälle und Verletzungen durch Blitz sind in unserm Klima ausserordentlich selten; in Preussen sterben durch Blitzstrahl jährlich 96 Menschen, und diese Fälle machen 1,4 % der Verunglückungen, 0,07 % aller Todesfälle aus.“

Zum Schluss dieses Kapitels gehen wir auf die Wirkungen ein, die die Schwankungen des Luftdruckes auf den menschlichen Körper ausüben. Es war davon schon Seite 44/45 die Rede; wir nehmen auf jene Ausführungen Bezug.

Die schädliche Wirkung des stark verminderten Luftdruckes beruht weniger auf der Druckverkleinerung selbst, als auf dem Mangel an Sauerstoff, der durch die verdünnte Luft bedingt ist.

Allerdings kommt auch die mechanische Wirkung der Druckverminderung zur Geltung, wenn sie sehr erheblich ist. Die Hautgefässe können sich erweitern und zerreißen — Blutungen aus Nase, Ohren und Mund (Zahnfleisch und Lungen) sind die Folge.

Aber während dieser Einfluss des verminderten Druckes erst in sehr beträchtlichen Höhen zur Geltung kommt, macht sich der Einfluss der verminderten Sauerstoffzufuhr schon bei viel weniger erheblicher Druckverminderung bemerkbar. Die Sauerstoffabnahme in verschiedenen Höhen ist Seite 45 angegeben, und man sieht ohne weiteres ein, dass diese rasche Abnahme des wichtigsten Lebenselementes das Wohlbefinden des Menschen einschneidend stören muss. Diese Beeinflussung würde auch schon in mässiger Höhe weit erheblicher sein, wenn sie nicht teilweise durch Beschleunigung der Atmung und des Blutkreislaufes ausgeglichen würde. Diese regulierenden Faktoren des Organismus bewirken es, dass sich erst in Höhen über 2500 m ernste Gesundheitsstörungen konstatieren lassen.

Die technische Ausnutzung der Luft.

Die technische Ausnutzung der Luft ist ein Kapitel, das sich nur schwer umgrenzen lässt. Bei sehr vielen der Anwendungsarten giebt man sich überhaupt keine Rechenschaft davon, dass es die Atmosphäre ist, der sie ihre Möglichkeit verdanken. Ein Teil dieser Anwendungsarten reicht weit zurück in die Vorzeit, auf Zeitalter, denen die Ursachen gänzlich unbekannt waren.

Rein praktische Gründe bewegen uns zu einer Einteilung dieses Abschnittes, die von andern Gesichtspunkten aus vielleicht manchen Angriff rechtfertigen könnte. Bei allem war es unsere Aufgabe, nach Möglichkeit einen Überblick über die wichtigsten Ausnutzungsarten der atmosphärischen Luft zu geben, dabei aber anderseits auf technische Einzelheiten nicht allzu sehr einzugehen. Der Techniker wird in den meisten Fällen unter Benutzung der verzeichneten Litteratur diese Details — die dem Interesse der übrigen Leser jedenfalls ferner stehen — studieren können; in andern Fällen lehnen sich diese Konstruktionseinzelheiten u. s. w. an weitere Wissenszweige so eng an, dass jeder Erklärungsversuch die Beherrschung dieser Disziplinen voraussetzen müsste.

War vorhin von denjenigen Anwendungsarten der Atmosphäre die Rede, bei denen das Bewusstsein der Ursache meist fehlt oder fehlte, so lässt sich als Beispiel zuerst die Verwendung des Mörtels zum Bau von Gebäuden anführen:

Als Mörtel bezeichnet man ganz allgemein die Bindemittel, welche zum Zusammenhalten (und zum äusseren Verputz) der Bausteine dienen. Der gewöhnlich gebrauchte Luftmörtel ist ein Gemisch von Kalkbrei (gelöschtem Kalk) mit Quarzsand. Der erste Grad der Erhärtung geht durch das Eintrocknen des Gemisches vor sich; die weitere Erhärtung aber erfolgt durch den Gehalt der atmosphärischen Luft an Kohlendioxyd: Der gelöschte Kalk ist

Calciumoxydhydrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$; er vereinigt sich mit dem Kohlendioxyd CO_2 der Luft nach der Formel:



Es wird also der gelöschte Kalk in unlöslichen kohlen-sauren Kalk (Calciumkarbonat) übergeführt, während andererseits Wasser entsteht ¹⁾. Der Sand dient dazu, die Bildung von Rissen zu vermeiden, die sonst infolge starken Schwindens des Kalkbreies entstehen; ausserdem macht der Sand die Masse poröser und erleichtert dementsprechend den Zutritt der Luft und damit auch des Kohlendioxydes zum Calciumoxydhydrat. Bei umfangreichen Bauten ist der Erhärtungsprozess des Mörtels noch in Jahrzehnten, ja zuweilen noch in Jahrhunderten nicht ganz vollendet. —

Vielleicht könnte man an dieser Stelle auch das Abtreiben des Silbers nennen. Denn dasselbe wurde schon geübt, als man noch keine Ahnung oder jedenfalls keine richtige Anschauung von den Bestandteilen der Luft und ihren chemischen Wirkungen hatte: Man schmilzt Silber und Blei zusammen, d. h. man benutzt die Eigenschaft des Bleies, beim Zusammenschmelzen mit Silbererzen diesen das Edelmetall zu entziehen ²⁾. Man erhält das silberhaltige „Werkblei“, aus dem das Silber durch die Treibarbeit gewonnen wird. Nimmt man diese auch heutzutage in einem Gebläseflam-ofen vor, also in einer Vorrichtung, die in bewusster Weise die Luft ausnutzt, so geschah das „Treiben des Silbers“ doch früher auf folgende einfache Weise: Das Werkblei wurde geschmolzen und dann fortwährend umgertührt, sodass immer neue Teile mit der Luft in Berührung kamen. Hierbei geht nach und nach sämtliches Blei in Bleioxyd (Bleiglätte) über, das sich über dem Silber ansammelt und durch geeignete Öffnungen abgelassen werden kann; es bleibt reines Silber (Blicksilber) zurück. —

Die beiden genannten Anwendungsarten der Luft für technische Zwecke beruhen auf chemischer Wirkung; sie sind nur als Beispiele vorweg genommen, ohne dadurch als Ausnahmen gelten zu wollen oder grössere Wichtigkeit als andere zu beanspruchen.

1) Diese Wasserbildung beim Erhärten des Mörtels ist die Ursache davon, dass in Neubauten viel mehr Feuchtigkeit entwickelt wird, als dem mechanisch beigemengten Wasser entspricht.

2) Der Vorgang ist der, dass in den Erzen das Silber der chemischen Verbindungen durch Blei ersetzt wird; das abgeschiedene Silber löst sich in dem Überschuss des verwendeten Bleies.

A. Ausnutzung des Atmosphärendruckes.

Es handelt sich im vorliegenden Kapitel um die Ausnutzung der ruhenden Luftmasse, oder genauer gesagt, um die Ausnutzung des Druckes, den die Atmosphäre ausübt. Gerade unter den hierher gehörigen Ausnutzungsarten sind viele, bei denen man sich der treibenden Kraft lange Zeit nicht bewusst war und auch heute noch in weiten Kreisen kaum bewusst ist. An einigen dieser Ausnutzungsarten haben wir schon auf Seite 46 erinnert. Nannten wir dort das Atmen, das Trinken und das Saugen, so könnte man einwenden, dass dies Bedingungen des organischen Lebens, nicht aber „Ausnutzungen“ des Atmosphärendruckes im eigentlichen Sinne seien¹⁾. Mit Fug und Recht dagegen kann man hier die Konstruktion der Brunnen, also die Saugpumpe und die Druckpumpe nennen.

Bei diesen Vorrichtungen steigt das Wasser dem nach oben gehenden Kolben nur um deswegen nach, weil in dem Pumpenrohr zwischen Kolben und Wasser die Luft verdünnt wird, während auf der übrigen Wasseroberfläche der volle Druck der Atmosphäre lastet. Die Saugpumpe wirkt dementsprechend nur bis zu einer solchen Höhe, dass die emporgesaugte Wassersäule dem Atmosphärendruck entspricht. Eine Saugpumpe kann also in Meereshöhe das Wasser nur etwa 32 Fuss = 10,33 m emporsaugen (vgl. Seite 41). Soll Wasser auf grössere Höhen gehoben werden, so muss man sich der Druckpumpen bedienen.

Die Konstruktion der Saugpumpe geht aus Figur 28 hervor. In dem Pumpencylinder *C* bewegt sich der mit Leder gedichtete Kolben *K*, dessen Ventile *W* sich nach oben öffnen. An der Stelle, wo der Pumpencylinder in das nach unten bis ins Wasser reichende Rohr *R* übergeht, ist ein Ventil *V* angebracht, das sich ebenfalls nach oben öffnet.

Bewegt sich der Kolben *K* nach oben, so wird die Luft zwischen *K* und *V* verdünnt; durch den Luftdruck bleiben die Ventile *W* geschlossen, während sich das Ventil *V* öffnet und Wasser im Rohr *R* und dann über *V* nach *C* in die Höhe steigt. Bewegt sich dann der

1) Es ist selbstverständlich, dass wir nicht von einer Ausnutzung der Luft sprechen, wenn diese allein unser Leben ermöglicht. Alles Hierhergehörige ist in dem Abschnitt „Die Einflüsse der Atmosphäre“ Seite 226 ff. behandelt. Auch die Verbrennung, gleichgiltig ob sie zur Erregung von Wärme oder von Licht vorgenommen wird, kann man im allgemeinen wohl kaum als eine technische Ausnutzung der Luft oder des in ihr enthaltenen Sauerstoffes ansprechen.

Kolben *K* wieder nach unten, so wird die Luft zwischen *K* und *V* verdichtet; Ventil *V* schliesst sich, während die Ventile *W* sich öffnen und Wasser nach oben treten lassen. — Das Spiel wiederholt sich mit den Bewegungen des Kolbens *K*, bis Wasser oben aus der Seitenröhre austritt.

Die Konstruktion einer Druckpumpe, und zwar einer solchen mit Saug- und Druckwindkessel, ist in Fig. 29 wiedergegeben. Hier

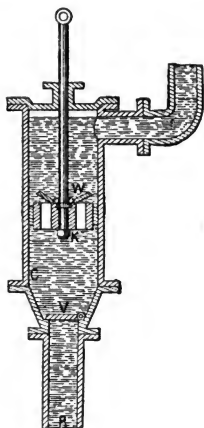


Fig. 28.

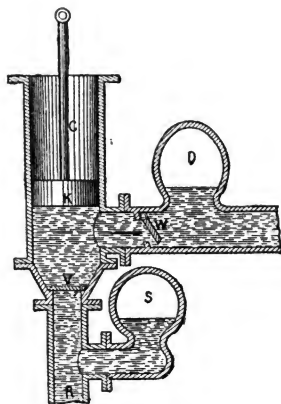


Fig. 29.

ist der Kolben *K* massiv, enthält also kein Ventil. Dafür sitzt ein solches *V*, das sich nach oben öffnet, am oberen Ende des Rohres *R*; ein zweites *W*, das sich nach rechts öffnet, ist in dem seitlichen Ansatzrohr angebracht.

Bewegt sich der Kolben nach oben, so wird durch den Atmosphärendruck das Ventil *W* geschlossen; dagegen öffnet sich das Ventil *V*, und Wasser steigt in *R* über *V* nach oben. Bewegt sich darauf *K* wieder nach unten, so schliesst sich Ventil *V*, während sich *W* öffnet und Wasser in das Ansatzrohr gelangen lässt; letzteres, das in der Figur abgebrochen gezeichnet ist, hat man sich nach oben verlängert zu denken. Mittels einer Druckpumpe kann man Wasser auf beliebige Höhen heben, denn der Atmosphärendruck beeinflusst

allein das Steigen im Rohr R bis über V^1); die Weiterführung des Wassers geschieht dann durch den Druck des abwärts bewegten Kolbens K .

In der gezeichneten Druckpumpe sind noch zwei Windkessel ersichtlich, der Saugwindkessel S und der Druckwindkessel D . Als Windkessel bezeichnet man geschlossene Lufträume, durch deren untern Teil das Wasser hindurch geleitet wird, sodass die eingeschlossene Luft wie eine Feder wirkt und die bei der nicht gleichmässigen Wassergeschwindigkeit auftretenden Stösse ausgleicht.

Aus zwei Druckpumpen mit einem Windkessel bestehen auch die Feuerspritzen; der Windkessel hebt die Stösse der Pumpe derart auf, dass das Wasser aus dem Windkessel durch einen mit Ausströmungsöffnung versehenen Schlauch in einem gleichförmigen Strahl hinausgedrückt wird.

Wir nennen an dieser Stelle noch den Stechheber und den Saugheber, beides so bekannte Vorrichtungen, dass ihre Beschreibung unnötig erscheint.

Auf Vollständigkeit können und sollen die aufgezählten Vorrichtungen keineswegs Anspruch machen. Hinzugefügt sei, dass auch die Luftschiffahrt eine Ausnutzung des Atmosphärendruckes darstellt. Die Schwere der Luft bewirkt es, dass die mit leichteren Gasen gefüllten Ballons in die Höhe steigen.

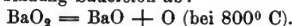
Greifen wir das vorliegende Kapitel etwas weiter, derart dass darin von den Ausnutzungsarten der ruhenden Luft im allgemeinen die Rede ist, also von solcher, die nicht durch ihre Bewegung wirkt, so gehören hierher noch die Verfahren, nach denen man aus der atmosphärischen Luft den technisch wichtigen und für viele Betriebe gebrauchten Sauerstoff gewinnt²⁾. So bedarf man des Sauerstoffes z. B. bei der Platinschmelze (Knallgasgebläse), in der Chlorfabrikation, zu Einatmungen bei schlechter oder stark verdünnter Luft (in raucherfüllten Räumen, in Bergwerken, auf Luftballonfahrten u. s. w.), zum Inhalieren für medizinische Zwecke u. s. w.

1) Es versteht sich von selbst, dass die Länge der Röhre R bis zum Ventil V nicht mehr als 10 m betragen darf.

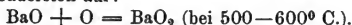
2) Es liessen sich an dieser Stelle noch viele wichtige Prozesse der chemischen Grossindustrie einreihen, so z. B. die Schwefelsäurefabrikation, bei der die Oxydation des Schwefeldioxydes zu Trioxyd durch Salpetersäure geschieht; letztere nimmt nachher den entzogenen Sauerstoff aus der Luft wieder auf und kann dann aufs neue im Betriebe verwendet werden.

Es sind hauptsächlich 6 Methoden, die zur Gewinnung von Sauerstoff aus der Luft vorgeschlagen sind:

1. Erhitzt man Bariumsuperoxyd BaO_2 auf 800°C ., so spaltet diese Verbindung Sauerstoff ab:

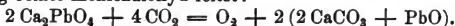


Leitet man nun bei $500\text{--}600^\circ \text{C}$. über das entstandene Bariumoxyd einen Strom reiner Luft ¹⁾, so nimmt die Verbindung aus der Luft wieder Sauerstoff auf:

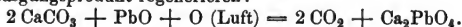


Es bleibt also theoretisch immer dieselbe Menge Bariumoxyd wirksam; der gewonnene Sauerstoff entstammt allein der atmosphärischen Luft.

2. Nach Kassner kann man Sauerstoff aus Calciumorthoplumbat Ca_2PbO_4 entwickeln, wenn man über diese Verbindung reines Kohlendioxyd leitet:



Letztere Verbindung lässt sich durch Überleiten von Luft wieder zum Ausgangsprodukt regenerieren:



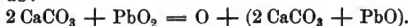
Man sieht, dass hier nach der Theorie nicht nur das Calciumplumbat, sondern auch das Kohlendioxyd in gleicher Menge wieder regeneriert wird.

Auf demselben Prinzip beruht das Verfahren:

3. Hier verwandelt man das Calciumorthoplumbat in feuchtem Zustande durch verdünntes Kohlendioxyd ²⁾ in Calciumkarbonat CaCO_3 und Bleisuperoxyd PbO_2 :



Wird letzteres Gemenge geglüht, so spaltet das Bleisuperoxyd Sauerstoff ab:



Die Regenerierung des letztgenannten Gemisches zu Calciumorthoplumbat geschieht genau ebenso wie bei der vorherbeschriebenen Methode.

4. Ferner hat man vorgeschlagen, die Luft durch Gipsplatten diffundieren zu lassen. Schon Seite 5 wurde unter d) bemerkt, dass sich der Sauerstoff und der Stickstoff der Luft durch Diffusion von einander trennen lassen. Der Stickstoff diffundiert durch eine poröse Membrane schneller, als der spezifisch schwerere Sauerstoff. Die

1) Die überzuleitende Luft muss durch Natronlauge vom Kohlendioxyd befreit sein.

2) Man verwendet zu diesem Zweck die kohlendioxydhaltigen Rauchgase der technischen Betriebe.

diffundierte Luft ist also stickstoffreicher, während der zurückbleibende Anteil einen höheren Sauerstoffgehalt hat. Lässt sich so theoretisch eine beliebige Anreicherung des Sauerstoffes denken, so dürfte doch andererseits ohne weiteres ersichtlich sein, dass sich diese Methode für die praktische Ausführung sehr wenig eignet.

5. Eine weitere Methode der Sauerstoffgewinnung aus der atmosphärischen Luft beruht auf der Thatsache, dass Stickstoff im Wasser weniger löslich ist als Sauerstoff.

1 Vol. Wasser löst 0,04114 Vol. Sauerstoff
 1 " " " 0,02035 " Stickstoff
 bei 0° und 760 mm Druck.

Lässt man also Luft von Wasser absorbieren und treibt das absorbierte Gasgemisch nachher durch Erhitzen wieder aus, so findet man es sauerstoffreicher als die atmosphärische Luft. Leitet man das Gemisch wieder in kaltes Wasser, treibt wieder aus und wiederholt das Absorbieren und Austreiben mehrmals, so erhält man ein recht sauerstoffreiches Gasgemenge, das für die meisten technischen Zwecke dieselben Dienste thut, wie reines Sauerstoffgas.

Man hat auf das zuletzt beschriebene Verfahren anfangs grosse Hoffnungen gesetzt, aber es hat sich dann doch gezeigt, dass die Kosten recht beträchtlich sind.

Praktisch ausgenutzt werden von den beschriebenen Methoden, soweit dem Verfasser bekannt ist, nur die erste, von Boussingault angegebene, bei der Bariumoxyd verwendet wird, und dann die zweite, von Kassner herrührende, welche, ebenso wie die dritte, auf der Zersetzung von Calciumorthoplumbat beruht.

Fehlte immerhin bisher eine recht billige Methode, um den wichtigen Sauerstoff, der doch in der Atmosphäre in ungeheurer Menge vorhanden ist, daraus darzustellen, so ist vielleicht zur Ausfüllung dieser Lücke ein Verfahren berufen, das sich der flüssigen Luft bedient; dasselbe findet im letzten Kapitel Besprechung.

B. Ausnutzung natürlich bewegter Luft.

Will man durch die atmosphärische Luft mechanische Arbeit verrichten lassen, so ist dazu nötig, dass die Luftteilchen ihren Platz verändern, d. h. sich bewegen. Um diese Bewegung hervorzurufen, kann man die Elastizität der Luft benutzen, d. h. man kann die Luft entweder zusammenpressen und sich dann wieder ausdehnen lassen, oder man kann umgekehrt die Luftbewegung durch Verdünnung

(Luftpumpen) herbeiführen, oder man kann weiter die Verdichtung oder Verdünnung nicht durch mechanische Gewalt, sondern durch Erhitzung oder Abkühlung eines Luftquantums bewirken.

Abgesehen aber von allen diesen künstlichen Luftströmungen kann man auch die natürlichen Luftbewegungen, d. h. die Winde¹⁾ zur Leistung von mechanischer Arbeit heranziehen.

Die ältesten Apparate zur Ausnutzung des Winddruckes sind die Windmühlen. Es sind dies Mühlwerke, die in einem besondern Gebäude aufgestellt sind und durch ein Windrad betrieben werden.

Die Welle, die das Flügelrad der Windmühle trägt, liegt nicht genau wagerecht, sondern vorn (nach den Flügeln zu) etwas höher als hinten. Da die Speichen senkrecht zur Welle angebracht sind, so stehen dieselben nicht vertikal, vielmehr so, dass der etwas von oben einfallende Wind sie mit voller Kraft trifft. Die erwähnte Steigung der Flügelwelle gegen den Horizont beträgt 5—15°; hierdurch wird gleichzeitig bewirkt, dass die Flügel in der nötigen Entfernung vom Gebäude umlaufen und dass das ganze Flügelrad sicherer in den Lagern ruht. An dem vorn aus der Mühle herausragenden Teil der Welle, dem Wellenkopf, sitzen die Windflügel, die ihrerseits aus den Windruten, den Windsprossen oder Scheiden und der Bedeckung bestehen. Die Windruten sind radial vom Wellenkopf auslaufende Arme, die gewöhnlich 9—10 m lang sind; jede der Ruten (gewöhnlich 4) ist die Rippe eines Flügels.

Als Sprossen bezeichnet man hölzerne Querarme, die in Entfernungen von je 0,3—0,4 m durch die Ruten hindurchgesteckt sind. Je nachdem die Flügel mehr rechteckig oder trapezförmig gestaltet sind, haben sämtliche Sprossen gleiche oder nach der Welle zu abnehmende Länge. Der schmälere Teil des Flügels ist gewöhnlich mit dem sogenannten Windbrett bedeckt; auf den breiteren Teil hingegen kommen die sogenannten Windthüren oder eine Bedeckung aus Segeltuch zu liegen, die man nach Belieben teilweise oder ganz entfernen kann. Die Flächen der Flügel sind gewöhnlich nicht eben, sondern sie weichen nahe der Welle mehr von der Vorderfläche der Windruten ab als in grösserer Entfernung von der Welle — sie sind windschief.

Da die Richtung des Windes veränderlich ist, so muss die Unterstützung des Windrades beweglich sein; die Welle des Rades muss sich um eine vertikale Achse drehen lassen, damit das Windrad

1) Die durch Wärmewechsel bewirkten vertikalen Luftströmungen kommen gewöhnlich für die technische Ausnutzung nicht in Betracht.

stets dem Winde entgegengestellt werden kann. Die Art und Weise, wie die Drehung des Windrades bewirkt wird, führt zur Unterscheidung der beiden Windmühlenarten, nämlich 1. der deutschen Windmühle oder Bockwindmühle und 2. der holländischen Windmühle oder Turmwindmühle.

Bei den deutschen Windmühlen ist das ganze Gebäude (mit der darin gelagerten Flügelwelle) um einen senkrechten festen Ständer, den Hausbaum, drehbar. Der Hausbaum bildet mit seinen seitlichen Versteifungen (Streben) den Bock der Mühle. Um die Drehung zu bewirken, geht von der dem Windrad entgegengesetzten Wand des Mühlengebäudes ein etwas nach unten geneigter, langer Baum (Start) aus, dessen Ende durch irgend eine Windevorrichtung, gewöhnlich eine Erdwinde, im Kreise herumgedreht wird.

Die Drehung der deutschen Windmühle erfordert, wie ohne weiteres erklärlich ist, einen ausserordentlich hohen Aufwand an Kraft und Zeit. Die Versuche, diesen Übelstand zu beseitigen, führten zur Konstruktion der holländischen Windmühle: Diese besteht aus einem feststehenden Gebäude, von dem nur der obere, dachförmige Teil, die Haube oder der Turm genannt, der die Flügelwelle trägt, um den senkrechten, im Gebäude befestigten Baum drehbar ist. Erleichtert wird die Drehung dadurch, dass in dem Mühlengebäude ein Speichenrad angebracht ist, das mit der Haube in fester Verbindung steht.

Um die holländischen Windmühlen selbstthätig durch den Wind einstellen zu lassen, bringt man oft auf der dem Flügelrad entgegengesetzten Seite der Haube ein kleineres Windrad an, dessen Fläche senkrecht zu der des grossen Flügelrades steht. Das kleinere Rad ist derart mit einem Räderwerk verbunden, dass bei seiner Drehung die Haube der Mühle durch ein Getriebe, das in einen Zahnkranz des Untergestelles eingreift, mitgedreht wird. Das kleine Windrad wird solange rotieren (und die Haube mitdrehen), bis es nicht mehr vom Winde getroffen wird, d. h. bis seine Fläche parallel der Windrichtung steht. Dann wird sich aber das eigentliche Mühlenrad gerade gegen den Wind gestellt haben, also voll von ihm getroffen werden.

Hinzuzufügen ist, dass bei der deutschen wie bei der holländischen Windmühle die Bewegung der Welle durch gezahnte Räder auf eine senkrechte Welle und durch diese auf den übrigen Bewegungsmechanismus übertragen wird.

Besondere Arten der Windräder sind die Windturbinen und die amerikanischen Windräder. Die Windturbinen bestehen aus einem horizontal gelagerten Schaufelrad; eine Ein-

stellung nach der Windrichtung ist dabei naturgemäss unnötig. Dennoch haben die Windturbinen so viele Mängel, dass sie sich nur wenig eingeführt haben. Viel mehr kann man sich für die amerikanischen Windräder erwärmen, die auch kurz Windmotoren genannt werden. Die Konstruktion dieser Windmotoren, deren Erfindung unstreitig den Amerikanern gebührt, hat ausserordentlich viel dazu beigetragen, dass man in neuerer Zeit mehr und mehr an die Ausnutzung des Winddruckes geht. Der Vorteil sämtlicher Windmotoren vor allen andern Motoren liegt ja darin, dass ihre Betriebskraft keine Kosten verursacht. Hierzu kommt noch, dass die amerikanischen Windräder im besondern so gut wie gar keiner Beaufsichtigung bedürfen, da sie sich nicht nur selbstthätig gegen die Windrichtung einstellen, sondern auch ihre wirksame Fläche nach der Windstärke regulieren.

Von einem amerikanischen Windrad giebt Fig. 30 eine Ansicht. Diese Motoren haben senkrecht gestellte Räder, deren Fläche aus dicht neben einander in schräger Stellung stehenden hölzernen Brettchen gebildet wird. In der Mitte ist ein freier Raum von etwa einem Drittel des Raddurchmessers, der dem Wind freien Abzug gewährt. Um die selbstthätige Einstellung des Motors

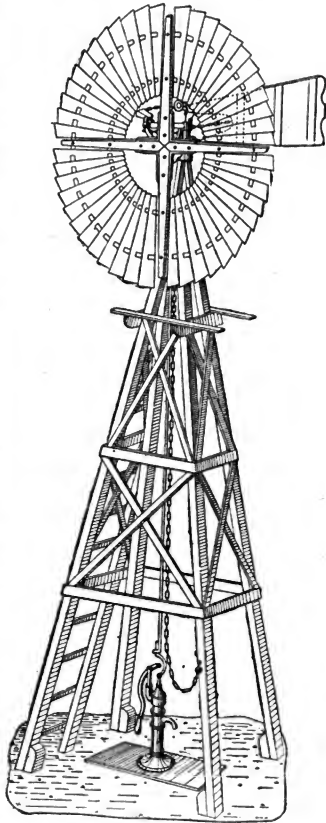


Fig. 30.

gegen den Wind zu bewirken, ist eine grosse Windfahne angebracht, deren Ebene rechtwinklig zur Fläche der Radscheibe steht.

Weiter haben diese Windräder, wie schon vorhin erwähnt wurde, selbstthätige Reguliervorrichtungen, wodurch bei zunehmendem Winddruck die dem Winde ausgesetzte Radfläche selbstthätig verkleinert, im entgegengesetzten Fall vergrößert wird.

Nach der Art der Regulierung unterscheidet man Windräder mit festen und solche mit beweglichen Flächen.

Bei den Windrädern mit festen Flächen (siehe Figur) ist noch eine zweite, kleinere Windfahne¹⁾ vorhanden, die der Fläche des Windrades parallel gerichtet ist und aussen auf einer Seite über das Windrad hervorragt. Bei zu starkem Winddruck lenkt diese kleine Windfahne das Rad von der bei normalem Winde vorteilhaftesten Stellung ab und vermindert so mehr oder weniger den Einfluss des Winddruckes auf das Rad.

Viel genauer und schneller passt sich bei den Windrädern mit beweglichen Flächen die Regulierung der Windstärke an. Bei diesen Windrädern, die man auch „Windräder mit beweglichen Sektoren“ nennt, besteht die Scheibe aus sechs Sektoren, die um sechs Achsen drehbar sind. Diese Achsen liegen ungefähr in der Mitte zwischen dem äusseren und inneren Kreisbogen jedes Sektors; alle Achsen zusammen bilden ein regelmässiges Sechseck. Herrscht Windstille, so bilden die sechs Sektoren eine einzige, senkrecht²⁾ gestellte Fläche. Dies ändert sich auch bei schwachem Winde nicht; bei zu starker Luftströmung dagegen drehen sich die Sektoren (die mit einer Art Centrifugalpendel verbunden sind) um ihre Achsen und stellen sich schief zur Windrichtung, ja bei starkem Sturm fast parallel zu derselben. Je grösser also der Winddruck ist, um so kleiner wird die vom Winde getroffene Radfläche; bei nachlassendem Winde vereinigen sich die Flügel wieder zu einer senkrechten Fläche.

Neuerdings sind besonders beliebt Windräder, die aus jalousieartigen, sternförmig von der Mitte ausgehenden Klappen zusammengesetzt sind. Bei schwachem bis normalem Winde liegen sämtliche Klappen dachziegelförmig an einander, sodass der Wind einen starken Widerstand findet. Wird der Wind stärker, so stellen sich die einzelnen Klappen mehr gegen den Wind, d. h. die Jalousie öffnet sich und die Wirkung des Winddruckes auf das Rad nimmt ab. Um diese Bewegung zu erreichen, hat man die Jalousieklappen in dem

1) In der Zeichnung ist die kleine Windfahne punktiert dargestellt.

2) Bei diesen Windmotoren braucht die Radwelle nicht vorn höher zu liegen als hinten, vielmehr muss die Radfläche wegen der bedeutenden Höhe des Untergestelles senkrecht stehen.

äusseren und dem inneren Radreifen drehbar angeordnet und durch einen Ringhebel alle mit einander verbunden; dieser steht in Verbindung mit einem seitlichen Flügel, dessen Bewegung durch die Stärke des Winddruckes beeinflusst und dann auf die Jalousieklappen übertragen wird.

Die amerikanischen Windräder sind in der Regel auf einem hohen Bockgestell angebracht und dienen hauptsächlich zur Wasserförderung. Man hat sie auch andern Zwecken dienstbar gemacht, aber naturgemäss immer nur solchen, die von einem unterbrochenen, vom Winde abhängigen Betriebe nicht leiden. Auch ist Voraussetzung für ihre Aufstellung eine freie, jedem Winde zugängliche Lage.

Um einen Überblick über die Zeit zu gewinnen, auf die man im Jahre für den Betrieb von Windmotoren rechnen kann, seien folgende Zahlen angeführt, die sich als Durchschnittswerte aus einer vierjährigen Beobachtungsperiode ergeben haben.

Danach stellt sich die Zahl der Windtage im Jahre durchschnittlich auf 280. Ferner wurden als Jahresmittel 15 Stunden Sturm, 759 Stunden starker Wind, 5744 Stunden schwacher Wind und 2242 Stunden Windstille beobachtet.

Für solche Verrichtungen, die nicht an eine bestimmte Zeit gebunden sind, und bei denen irgend wann „auf Vorrat“ gearbeitet werden kann, ist der Windmotor wegen der Billigkeit, der Entbehrlichkeit von Betriebspersonal und wegen seiner Gefahrlosigkeit in erster Linie zu empfehlen. Es sei erwähnt, dass in Deutschland die Firma C. Reinsch, Dresden (Deutsche Windturbinen-Werke) Hervorragendes im Bau moderner selbstregulierender Windräder leistet. Diese haben einen Durchmesser von 3—12 m und leisten bei einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 7 m (in der Sekunde) eine Arbeit von $\frac{3}{4}$ bis 18 Pferdestärken.

Von weiteren Ausnutzungen der natürlich bewegten Luft ist vor allem die Schifffahrt mit Hilfe von Segeln zu nennen, die schon im Altertum geübt wurde und namentlich bei den Phöniziern in Blüte stand. Die Segelschifffahrt ist ein ausserordentlich wichtiger Verkehrsfaktor, der in allerneuester Zeit wieder besonders an Bedeutung gewinnt, nachdem er mehrere Jahrzehnte durch die Dampfschiffe etwas in den Hintergrund gedrängt war. Zumal für den überseeischen Frachtverkehr bedient man sich jetzt mit Vorliebe grosser eiserner oder stählerner Segelschiffe, von denen der Hamburger Fünfmaster *Potosi* zur Zeit das grösste Segelschiff der Welt

ist. — Auf die Segelschiffahrt und deren Regeln im einzelnen einzugehen, würde den Zwecken dieses Buches nicht entsprechen.

Schliesslich sei erinnert an die vielfachen Trocknungsprozesse, bei denen man besonders auf die Hilfe der Luftbewegungen rechnet.

C. Ausnutzung künstlich bewegter Luft.

Auf Seite 274 ist erwähnt, dass man zur Ausnutzung von Energie eine Luftmasse auch künstlich in Bewegung setzen kann. Um diesen Zweck zu erreichen, kann man sehr verschieden verfahren¹⁾: Man kann die Luft abkühlen oder erwärmen; man kann sie verdichten oder verdünnen. Als besonders wichtig sollen hier die Heissluftmaschinen und die eigentlichen Luftbewegungsmaschinen kurz behandelt werden.

1. Die Heissluftmaschinen.

Die Heissluftmaschinen werden auch kalorische Maschinen und Luftexpansionsmaschinen genannt. Es sind dies Motoren, in denen die Ausdehnung einer erwärmten Luftmenge als Triebkraft benutzt wird.

Man hat zwei Arten von Heissluftmaschinen zu unterscheiden, offene und geschlossene. Bei den offenen Maschinen wird dem Arbeitscylinder mittels einer Luftpumpe fortwährend neue Luft aus der Umgebung zugeführt, die nach ihrer Erwärmung und Ausdehnung aus der Maschine wieder entweicht. Bei den geschlossenen Maschinen dagegen wird die Bewegung durch abwechselndes Erhitzen und Abkühlen eines und desselben Luftquantums bewirkt; diese Luft verlässt also die Maschine nicht wieder, sondern verbleibt ein für allemal in dem Cylinder.

Alle jetzt gebräuchlichen kalorischen Maschinen gehören zu der Klasse der geschlossenen Heissluftmaschinen, weshalb hier auch nur ein Repräsentant dieser Klasse beschrieben werden soll. Erwähnenswert sind die geschlossenen Luftexpansionsmaschinen von

1) Es sei daran erinnert, dass hier nur von der Ausnutzung künstlich bewegter atmosphärischer Luft die Rede ist. Nicht zu erwähnen sind demnach beispielsweise die Schusswaffen, bei denen durch chemische Reaktion sonstige Gase erzeugt und in Bewegung gesetzt werden.

sein als der Gegendruck im Innern, wo sich die erst erwärmte (verdünnte) und dann wieder abgekühlte Luftmasse befindet.

Sobald die Luft wieder nach H zurückgedrängt ist, wird sie aufs neue erwärmt, bewegt den Kolben B nach oben u. s. w.

Die Heissluftmotoren werden nur in Grössen bis höchstens zu 2 Pferdestärken gebaut, weil darüber hinaus ihr Betrieb zu teuer wird. Trotz mancher Mängel haben die kalorischen Maschinen namentlich für das Kleingewerbe einige Bedeutung. Denn sie sind schnell in Gang zu setzen, arbeiten ohne Geräusch und ohne Explosionsgefahr. Die Heissluftmaschinen bedürfen nicht der behördlichen Konzession; ihre Aufstellung ist nicht an das Vorhandensein von Gas-, Wasser- oder elektrischen Leitungen gebunden; sie passen sich jedem Heizmaterial an und sind zu jeder Zeit betriebsfertig.

Als Luftbewegungsmaschinen (Lufttransportmaschinen) bezeichnet man mechanische Vorrichtungen, deren Aufgabe es ist, atmosphärische Luft aus einem Raum in einen andern überzuführen. Wird dieser Zweck erreicht durch eine Zunahme des Luftdruckes in dem Raum, in den die Luft eingeführt wird, so heissen die Luftbewegungsmaschinen:

Gebläse, Ventilatoren, Luftkompressoren, Kompressionspumpen oder Luftverdichtungsmaschinen.

Bewirkt die Maschine dagegen eine Verminderung des Luftdruckes in dem Raume, aus dem die Luft entnommen wird, so führt sie den Namen:

Luftpumpe oder Exhaustor, Aussauger, Saugmaschine.

Die Exhaustoren werden fast nur gebraucht zur „Wetterführung“ in Bergwerken, d. h. dazu, die schlechte Luft abzusaugen. Zu demselben Zwecke dienen sie auch in Wohnräumen, Kellern, Lagerräumen u. s. w. Weil man bei allen diesen Verwendungsarten von einer unmittelbaren technischen Ausnutzung der atmosphärischen Luft nicht wohl sprechen kann, sollen die Saugmaschinen hier nicht Berücksichtigung finden.

2. Die Luftkompressoren.

Die Luftkompressoren, auch Kompressionsmaschinen, Kompressionspumpen und kurzweg Kom-

pressoren genannt, sind mechanische Vorrichtungen zur Verdichtung von Luft.

Die Kompressoren bestehen im allgemeinen aus einem Cylinder, in dem sich ein Kolben hin- und herbewegt. Durch nach innen aufschlagende Saugventile wird dabei Luft angesaugt und durch Druckventile in ein Luftreservoir übergepresst. Die Konstruktion ist also ungefähr die einer Wasserdruckpumpe (Fig. 29, Seite 271):

Bewegt sich der Kolben K in der angezogenen Figur¹⁾ nach oben, so tritt Luft von R durch das Ventil V ein. Der Grad der Pressung wird durch die Schwere des Ventiles W reguliert. Bei der Abwärtsbewegung des Kolbens wird die Luft verdichtet und durch W in das Luftreservoir gedrückt.

Bei der Verdichtung von Luft wird deren Temperatur gesteigert; handelt es sich um eine starke Kompression, so muss die Luft während des Prozesses abgekühlt werden, da sonst Gefahren für die Maschinenteile entstehen. Die Art, wie diese Kühlung erfolgt, scheidet die Luftkompressoren in zwei Klassen, nasse und trockne Kompressoren.

Bei den trocknen Kompressoren umgibt das Kühlwasser den Cylinder der Maschine; bei den nassen Kompressoren wird das Kühlwasser in den Maschinencylinder eingeführt. Man macht sogar noch einen weiteren Unterschied, indem man unter halbnassen Kompressoren solche versteht, bei denen das Wasser in fein verteiltem Zustande in den Cylinder eingespritzt wird, während man als nasse Kompressoren solche bezeichnet, bei denen der Cylinder zum Teil mit Wasser gefüllt ist.

Jede dieser Arten hat für besondere Zwecke ihre Vorteile und ihre Nachteile. Die grosse Druckluftanlage der Stadt Paris benutzt grossenteils Riedlersche Kompressoren²⁾, die zu der Klasse der „halbnassen“ gehören. Ein schöner Artikel in Dinglers Journal³⁾ über „Neuere Luftkompressoren“ macht mit Recht darauf aufmerksam, dass in neuerer Zeit besonders die trocknen Kompressoren grosse Verbreitung erfahren haben.

Es ist nicht unsere Aufgabe, auf technische Einzelheiten in der Konstruktion von Luftkompressoren einzugehen, von denen eine schier unübersehbare Menge existiert. Das Prinzip ist ohnehin oben

1) Natürlich hat man sich das eingezeichnete Wasser wegzudenken; durch das Rohr R wird die Luft angesaugt; rechts von W liegt das Reservoir für die verdichtete Luft.

2) A. Riedler, „Die Kraftversorgung von Paris durch Druckluft“ und „Neue Erfahrungen über die Kraftversorgung von Paris durch Druckluft“. Berlin 1891.

3) Dinglers polytechnisches Journal 298, 79 u. 104.

klar gelegt; wer sich für Details interessiert, findet solche in den beiden citirten Schriften sowie in dem grossen Werke von A. v. Ihering, „Die Gebläse,“ Berlin 1893. Es mag nur noch hinzugefügt sein, dass man heutzutage bei stärkeren Pressungen die Luftverdichtung mit Vorliebe in zwei Stufen vor sich gehen lässt.

Von den Luftkompressoren dienen die Gebläse im besondern dazu, einen Strom gepresster Luft zum Zwecke einer Oxydationswirkung oder zur Hervorbringung eines Luftwechsels zu erzeugen. Sehen wir von letzterem Zwecke — der mit demjenigen der Exhaustoren zusammenfällt — ab, so verwendet man die Gebläse, wenn man ein Brennmaterial sehr heftig verbrennen lassen will, wie in Schmelzöfen, Bessemerbirnen, Schmiedefeuern, Hohöfen¹⁾ u. s. w. Weiter kommen die Gebläse zur Verwendung, wenn man aus einer Mischung ein Metall als Oxyd abscheiden will, wie z. B. beim Abtreiben des Silbers aus dem Werkblei (vgl. Seite 269).

Die²⁾ Gebläse saugen atmosphärische Luft an, vergrössern ihre Dichtigkeit (Pressung) und führen sie als Gebläsewind zum Orte der Oxydation (meist Öfen) in Röhren (Windleitung), deren konische Ausströmungsöffnung (Düse) in einen der Ofenwand eingefügten abgestumpften metallenen Hohlkegel (Form, Eckeisen) mündet. Das gewöhnlichste Gebläse ist der allbekannte Blasebalg; die meist gebrauchten Cylindergebläse fallen in der Konstruktion mit allgemeinen Luftkompressoren zusammen. Man unterscheidet nach der Lage der Cylinder stehende, liegende und oszillierende Cylindergebläse, nach der Art der sie bewegenden Motoren Wasserrad-, Turbinen-, Dampfgebläse. — Die hydraulischen Gebläse funktionieren unter Zuhilfenahme von Wasser. Von diesen besteht das sehr alte Wassertrommelgebläse aus einer stehenden Röhre, die oben aus einem hoch gelegenen Reservoir gespeist wird. Das Wasser reisst beim Niederfallen durch feine seitliche Öffnungen Luft mit sich fort; letztere trennt sich beim Aufschlagen in einem mit der Röhre verbundenen geschlossenen Gefäss (Windkasten) von dem Wasser, sammelt sich in dem obern Teil des Windkastens an und strömt komprimiert in die Windleitung, während das Wasser durch eine unten angebrachte

1) Bei den Hohöfen hat die eingepresste Luft nicht nur den Zweck, die Kohle bei starker Hitze zu verbrennen und so die für den Reduktionsprozess des Eisens nötige hohe Temperatur zu erzeugen, sondern sie bewirkt auch die Verbrennung unwillkommener Beimengungen des Eisenerzes, so z. B. des Schwefels und des Phosphors.

2) Zum Teil nach Brelow-Hoyer, „Lexikon der mechanischen Technologie“.

Öffnung abfließt. Zu den hydraulischen Gebläsen gehört noch eine grosse Menge von Konstruktionen, so auch das noch nicht sehr alte Wellnersche Zellenradgebläse: Es besteht aus einem bis nahe zur Hälfte im Wasser laufenden Zellenrad, dessen Zellen beim Eintauchen ins Wasser eine Quantität Luft mit hinabnehmen, um dieselbe unter Wasser zu komprimieren und dann in ein glockenförmiges Windreservoir treten zu lassen. — Erwähnenswert sind ferner die Centrifugalgebläse (Flügelradgebläse). Sie bestehen aus einem Schaufelrad, das in einem Gehäuse schnell rotiert. In der Mitte des Schaufelrades tritt die Luft ein, nimmt an der Rotation teil und wird unter dem Einfluss der Centrifugalkraft nach der Peripherie geschleudert; von da wird sie in die Windleitung gepresst. — Schliesslich seien noch die Dampfstrahlgebläse genannt, bei denen der Dampf ungefähr dieselbe Rolle spielt, wie das Wasser im Wassertrommelgebläse, d. h. der in das Rohr geleitete Dampfstrahl reisst die angrenzende Luft mit sich fort.

Viele Arten von Gebläsen lassen die Luft nicht in gleichmässigem Strome, sondern stossweise entweichen. Da nun aber für viele Zwecke ein gleichmässiger Strom der verdichteten Luft wünschenswert oder geradezu notwendig ist, so schaltet man in die Windleitungen Regulatoren ein, d. h. Vorrichtungen, die denselben Zweck zu verrichten haben, wie die Windkessel der Druckpumpen (Fig. 29, Seite 271). Die Regulatoren der Windleitungen bestehen entweder aus verhältnismässig grossen Reservoiren von unveränderlichem Rauminhalt, oder aber es sind Cylinder oder Lederbälge, die mit Kolben oder belasteten Deckeln versehen sind.

Von besonderer Bedeutung ist in neuerer Zeit die Erzeugung von Druckluft, auch Pressluft genannt, zu dem Zwecke geworden, eine bequeme und billige Kraftverteilung von Centralen aus zu ermöglichen. Liegen auch nicht durchweg günstige Erfahrungen mit dem Druckluftbetrieb vor, so scheint derselbe doch bei gesunder Weiterentwicklung dazu berufen, eine ausgezeichnete Kraftquelle namentlich für Kleinmotoren zu werden und so das Handwerk in dem schweren Kampfe gegen die vollkommenen Maschinen der Grossindustrie zu unterstützen.

Die bedeutendste Druckluftanlage ist die der Compagnie Parisienne de l'air comprimé procédés Victor Popp. Alle andern Anlagen bauen sich zum grössten Teil auf den Erfahrungen der Pariser Gesellschaft auf; in Deutschland ist eine Druckluftanlage von einiger Ausdehnung in der Stadt Offenbach vorhanden.

Die Druckluft hat bei der Ausnutzung durchschnittlich eine Spannung von 6 Atmosphären; da man in langen Leitungen bis zu 1 Atmosphäre Spannungsverlust rechnet, wird die Luft in den Centralstationen auf 7 Atmosphären komprimiert. Einzelheiten über die Pariser Centralanlage wolle man in der schon citierten Riedlerschen Arbeit, sowie in zwei Monographien von Dr. Proell¹⁾ nachlesen. Bei der Kompression wird in der schon geschilderten Weise durch Wassereinspritzung oder Aussenkühlung die dem Verdichtungsprozesse entstammende schädliche Wärme beseitigt. Bevor die Luft aus der Rohrleitung bei dem Konsumenten in die zu treibenden Motoren gelangt, hat sie einen Luftmessapparat, einen Druckregulator und einen Luftvorwärmer zu durchströmen.

Der Luftmessapparat besteht aus einem Flügelrade, das in ein kleines Gehäuse eingeschlossen ist; er verzeichnet den Luftverbrauch, wirkt also wie der Gasmesser in einer Gasleitung. Durch den Druckregulator wird der Luftdruck auf den für den Betrieb nötigen Grad reduziert.

Sehr wichtig ist der Luftvorwärmer; er dient, wie aus seinem Namen hervorgeht, zum Vorwärmen der Druckluft, bevor diese in den zu treibenden Motor gelangt. Der Nutzen der Vorwärmung ist zweifach: Erstens dehnt sich die Druckluft bei der Erwärmung aus; es wird also um die Grösse dieser Ausdehnung bei der Füllung des Motoreylinders an Luft gespart. Zweitens hat die Vorwärmung den Zweck, sehr unangenehme Nebenerscheinungen zu verhindern, die sich sonst bei der Ausdehnung der Druckluft in den Motoren geltend machen. Ebenso nämlich wie Wärme bei der Verdunstung verbraucht wird (vgl. Seite 176), geschieht dies auch bei der Ausdehnung von Gasen (vgl. Seite 63, Anm. 3). Während also bei der Kompression von Luft Wärme erzeugt wurde, wird solche bei der Expansion der Luft absorbiert. Expandiert demnach die Druckluft im Innern des Cylinders und vergrössert sich dessen Raum durch die Kolbenbewegung, so sinkt die Temperatur; ist die Ausdehnung der Luft genügend stark, so kann eine weit unter 0° liegende Temperatur entstehen. Dann bilden sich, da die Luft wasserhaltig ist, Schnee und Eis im Cylinder und seinen Kanälen — diese verstopfen sich und die Maschine bleibt stehen. Dieser Übelstand wird durch genügende Vorwärmung sicher vermieden. Die Vorwärmöfen sind gusseiserne Öfen mit Zellenwänden, mit einfacher

1) Proell, „Über Druckluftanlagen und deren Bedeutung für Städte“. Vortrag. Dresden 1890. — Proell, „Projekt einer städtischen Druckluftanlage von 7500 indizierten Pferdestärken“. Dresden 1890.

innerer Heizung. Sie haben den Vorteil bequemer Aufstellbarkeit und grosser Einfachheit, sodass sie von jedermann bedient werden können. Der Brennstoffverbrauch wird, auch abgesehen von der Unschädlichmachung der Verdunstungskälte, durch die Ersparnis an Druckluft beim Motorbetrieb bei weitem aufgewogen.

Nach vielen Versuchen erscheint es besonders zweckmässig, die vorgewärmte Druckluft mit Wasserdämpfen zu mischen: Dehnt sich ein Gemisch von Luft und Wasserdampf aus, so ist letzterer während der Expansion Träger der Wärme und giebt während der Ausdehnung seine latente Wärme an die erkaltenden Luftteilchen ab. Er vermehrt also nicht nur das Luftvolumen rein mechanisch durch seine Beimischung, sondern er vergrössert dasselbe auch noch während der Expansion, weil die Kontraktion durch Abkühlung wegfällt. Er reduziert dabei nicht allein den Luftverbrauch, sondern er erhöht auch die indizierte Arbeit; es ist also klar, dass der Effekt durch den Wasserdampf sehr erheblich gesteigert wird. Nach Versuchen von Riedler gelingt es durch die Vorwärmung und Wasserdampfbeimischung sogar, den Nutzeffekt, mit dem die Luftmaschine arbeitet, gleich oder grösser als 1 zu erhalten, während derselbe sonst nur 0,5—0,8 beträgt. Die Kosten der Vorwärmung und Beimischung von Wasserdampf sind so gering, dass sie gar nicht ins Gewicht fallen.

Zur Orientierung sei hinzugefügt, dass der beigemischte Wasserdampf in dem Luftmotor viel vollkommener zur Arbeitsleistung ausgenutzt wird als in der Centrale, wo ja der Betrieb der Luftkompressoren durch Dampfmaschinen geschieht. Denn im Luftmotor nutzt man die latente Wärme des Wasserdampfes zur Erwärmung der expandierten Luft aus, während in der Dampfmaschine die latente Wärme unwirksam bleibt.

Die Beimischung an Wasserdampf zur Druckluft lässt sich verschieden einstellen, sodass die Luft aus dem Motor mit jeder gewünschten Temperatur entweichen kann. Hieraus geht hervor, dass im Winter mit der Abluft geheizt, im Sommer damit gekühlt werden kann. Im letzteren Falle entsteht als Nebenprodukt die wertvolle Kaltluft, auf die wir noch nachher zurückkommen.

Auch ohne Beimischung von Wasserdampf, nur allein durch genügende Vorwärmung der Druckluft unmittelbar vor dem Eintritt in den Motor, lässt sich die Ausnutzung der Energie ausserordentlich steigern. „Die¹⁾ diesbezüglichen theoretischen Verhältnisse sind vom Professor Weyrauch in einer Abhandlung der ‚Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure‘ ausführlich begründet worden. Der

1) Aus Riedler l. c.

grosse Wert der Vorwärmung liegt darin, dass in den Heizöfen bei unmittelbarer Übertragung der Wärme der Verbrennungsgase in die Druckluft die Brennstoffausnutzung etwa sechsmal so vorteilhaft ist als bei Dampfkesseln. $\frac{1}{10}$ kg Brennstoff vermindert den Luftverbrauch der Luftmaschinen auf die Hälfte, bezw. verdoppelt die Leistung, während dieses $\frac{1}{10}$ kg in Dampfmaschinen kaum den zehnten Teil dieser Arbeit leisten kann.

Mit vollkommeneren Heizvorrichtungen ist es ohne nennenswerte Erhöhung des Brennstoffverbrauches möglich, der Druckluft soviel Wärme zuzuführen, dass nicht nur alle Verluste bei Erzeugung der Druckluft ersetzt werden, sondern dass auch mehr Arbeit abgegeben werden kann, als ursprünglich zur Luftverdichtung aufgewendet wurde. 15—20 % Mehrarbeit ist mit einfachen, praktisch lebensfähigen Mitteln erreichbar, und es steht in dieser Hinsicht den Luftmaschinen ein weites Feld offen. 30 % Mehrarbeit ist beispielsweise schon bei Vorwärmung auf 250° möglich.“ —

Auf die Motoren, die Luftmaschinen, braucht nicht näher eingegangen zu werden, denn im Prinzip sind diese Maschinen keineswegs anders konstruiert als gewöhnliche Dampfmaschinen; teils werden solche ohne Expansion, teils solche mit Expansion verwendet. —

Die Druckluft hat sehr mannigfaltige Verwendung gefunden. Berücksichtigen wir zunächst die grösste Anlage, die Pariser, so wird dort die Druckluft zum Betriebe vieler Druckereien, zum Treiben von Drehbänken, Sägen, Fräsen, Scheren, Lochmaschinen, Schleif- und Poliermaschinen u. s. w. benutzt. Zahlreiche Schreinerereien bedienen sich ihrer; man findet die Luftmaschine bei Drechslern, Klempnern, Buchbindern, Zahnärzten (zum Betreiben der Zahnbohrer), weiter namentlich bei Schuhmachern und Schneidern zum Betriebe der Nähmaschinen u. s. w. Riedler erwähnt weiter als Konsumenten von Druckluft: Fabrikanten von Spielwaren, Knöpfen und anderen Kleinwaren, die Kleingewerbe der Textilindustrie mit Luftmotoren für Stick- und Wirkmaschinen, Trockenmaschinen, Passementerie, Webereien, die verschiedenartigsten Mühlen, Einrichtungen für Galvanoplastik, Gravier-, Poliermaschinen, Korkscheidemaschinen, Kaffeebrennereien, Schokoladefabriken, Konditoreien, weiter Farbreibmaschinen, Maschinen zur Erzeugung von Billardkugeln, Zerkleinerungsmaschinen u. s. w.

Alle diese und noch viele andere Verwendungsarten des Luftmotors sind nur möglich durch seine vollkommene Gefahrllosigkeit und durch die Leichtigkeit, mit der er von jedem unerfahrenen Menschen bedient werden kann. In der That hat sich herausgestellt, dass die Bedienung jedem Kellner, Hausknecht, Lehrling, Dienst-

mädchen u. s. w. übertragen werden kann. Das Aufdrehen eines Hahnes genügt, den Luftmotor in Betrieb zu setzen, und auch die richtige Einstellung der Vorwärmung macht nicht die mindeste Schwierigkeit.

Dazu kommt weiter der Umstand, dass der Anschaffungspreis der Luftmotoren verhältnismässig sehr gering ist. Ferner vertragen die Luftmotoren eine sehr hohe Tourenzahl, sodass sie z. B. mit Dynamomaschinen direkt gekuppelt werden können. So kann, wo elektrische Centralen fehlen, der Luftmotor auf bequeme Weise die Erzeugung von elektrischem Licht vermitteln.

Die oben genannten Betriebe erschöpfen übrigens die Anwendung der Druckluft bei weitem nicht. Vielfach wird die Druckluft direkt (ohne Zwischenmaschinen) ausgenutzt. Z. B. betreibt man in Paris hydraulische Aufzüge mit Luft statt mit Druckwasser¹⁾. Weiter können Flüssigkeiten (Wein, Bier, Öl, Säuren u. s. w.) durch Druckluft aus tieferen Räumen in höhere gehoben werden. Dabei drückt die Luft unmittelbar auf die in dem Gefäss eingeschlossene Flüssigkeit; in letztere taucht das nach oben gehende Abflussrohr (Steigrohr) ein. Auf diese Weise kämen z. B. die Bierpumpen in Wegfall.

Die Druckluft ermöglicht auch direkt das Heben von Lasten, den Betrieb von Präge- und Pressmaschinen u. s. w. In Paris ist die Druckluft in grossartigem Massstabe für den Betrieb der pneumatischen Uhren in Anwendung; es war dasjenige Betrieb, für den Popp die Druckluft zuerst (1880) bestimmt hatte.

Es sind Werkzeuge konstruiert worden, die direkt durch Druckluft in Bewegung gesetzt werden, so pneumatische Meissel und Bohrer. „Erstere²⁾, eine Erfindung des Amerikaners Mc. Coy, haben bei ihrem Bekanntwerden allgemeines Staunen erregt. Der pneumatische Meissel oder schlechtweg Pressluftwerkzeug genannt — besser wäre die Bezeichnung Druckluftmeissel — besteht aus einem Meissel mit Handgriff. In letzterem befindet sich ein Cylinder mit Kolben und Steuerung. Letztere leitet selbstthätig die Druckluft abwechselnd auf die eine oder andere Seite des Kolbens, wodurch dieser vor- und zurückgeschnellt wird. Beim Vorschnellen schlägt der Kolben auf das Kopfende des Meissels und

1) Treibt man einen Aufzug mit Druckwasser, so muss letzteres immer erneuert werden. Beim Betrieb mit Druckluft bleibt die Wassersäule im Druckcylinder des Aufzuges bestehen, und die Luft drückt auf die Wassersäule. So braucht nur die Druckluft erneuert zu werden, was eine erhebliche Ersparnis bedeutet. Beispielsweise kostet in Paris 1 cbm Wasser 32 Centimes, 1 cbm Luft (auf Atmosphärendruck umgerechnet) nur 1,5 Cent.

2) Aus Proell, „Über Druckluftanlagen“.

erteilt demselben 12 000 bis 15 000 Schläge in der Minute. Man hört infolgedessen nur ein Summen. Durch die Expansion der Luft wird gleichzeitig der Handgriff so gekühlt, dass ein Ausgleich mit der durch die Stösse entstehenden Wärme erfolgt. Der Arbeiter hält den Daumen der Hand aufs Auspuffloch, wobei er durch die damit verbundene Bremsung die Geschwindigkeit der aufeinanderfolgenden Schläge genau einstellen kann. Am Ende des Handgriffs, der aus der Hand des Arbeiters hervorragt, befindet sich der Anschluss an die Druckrohrleitung. Der Meissel dringt infolge der grossen Anzahl Schläge in leichtester Weise in jede Unterlage ein, z. B. in Sandstein, Marmor, selbst Granit. Der Druckluftmeissel verrichtet seine Arbeit nachweislich sechsmal schneller als ein Steinmetz. Auch für andere Zwecke lässt sich der Druckluftmeissel verwenden, zum Verstemmen und Vernieten von Gefässen, zum Treiben in Metall, zum Putzen von Gussstücken u. s. w.“ Auch Decoupiersägen mit Druckluftbetrieb sowie Pressluftbohrer sind konstruiert worden.

Ausserordentlich vervollkommnete Pressluftwerkzeuge hat jetzt die P n e u m a t i c T o o l C o. in Chicago¹⁾ konstruiert. Wir nennen einen Presslufthammer mit verschiedenen einsetzbaren Meisseln, Pressluftbohrapparate und Pressluftnietmaschinen.

Man hat ferner Druckluft verwendet, um grosse Flächen auf schnelle Weise mit einem Farbenanstrich zu versehen; dabei wurde die Farbe durch die Druckluft zerstäubt und gegen die anzustreichende Fläche geschleudert.

Von der Verwendung der Druckluft lassen sich für die Chemie manche Umwälzungen erwarten, da viele Reaktionen bei Gegenwart von gepresster Luft anders verlaufen als bei Atmosphärendruck²⁾. Ferner findet Druckluft Anwendung in der Medizin zur Heilung von asthmatischen Beschwerden.

Ausserordentlich bedeutungsvoll erscheint als Nebenprodukt der Druckluft die Kaltluft.

Kaltluft lässt sich auf mannigfache Weise erzeugen; aber alle früheren Methoden waren nur dem Grossbetrieb zugänglich, der

1) In Deutschland werden diese Werkzeuge von den Firmen Schuchardt & Schütte in Berlin und Chas. G. Eckstein & Co. in Berlin eingeführt.

2) Von der Verwendung gepresster Luft bei der Verhüttung von Erzen war schon Seite 284 die Rede. Bei Vorhandensein einer Centraldruckluftanlage würden besondere Gebläsemaschinen für die Hüttenwerke u. s. w. natürlich wegfallen können.

Kleinbetrieb und noch mehr die Haushaltung mussten sich ohne Kaltluft begnügen. Und doch scheint die Kaltluft die einzige Möglichkeit zu bieten, auf rationelle Weise die Temperatur unserer Wohnräume im Sommer zu regulieren. Im Winter giebt der Ofen Wärme; im Sommer ist bei hoher Aussentemperatur eine wirksame Abkühlung der Wohnräume — von Kaltluft abgesehen — so gut wie unmöglich.

Um aus der Druckluft Kaltluft zu erzeugen, kann man auf zwei verschiedene Arten verfahren: Erstens kann man die komprimierte Luft direkt der Rohrleitung entströmen lassen, wobei, wie Seite 286 erläutert ist, Wärme verbraucht, d. h. Kälte erzeugt wird. Diese Art der Kaltluftbildung ist zwar nicht sehr ökonomisch, aber sie ist ausserordentlich bequem und wird, wo einmal Druckluft zur Verfügung steht, sicher häufig mit Vorteil verwendet werden.

Auf die zweite Art der Erzeugung von Kaltluft wurde Seite 287 kurz hingewiesen: Wärmt man die Druckluft vor ihrem Eintritt in den Motor nur schwach vor, so kann man es leicht erreichen, dass die Auspuffluft der Maschine mit einer Temperatur unter 0 entströmt. Bei dieser Art der Kälteerzeugung wird also die Druckkraft zuvor in dem Motor ausgenutzt und dann erst zu Kühlzwecken verwendet. In Paris sind in Restaurants und Kaffees zahlreiche Luftmotoren (mit schwacher Vorwärmung) in Betrieb. So treibt der Konditor mit der Luftmaschine tagsüber seine Hilfsmaschinen, Rührwerke u. s. w., beleuchtet abends seinen Laden und benutzt nebenbei die Abluft für Gefrierzwecke. Er hat dazu nur nötig, die Auspuffluft in einen Kasten zu leiten, in den die Wasserkaraffons, die Gelées u. s. w. zum Gefrieren gebracht werden.

Grosse Wichtigkeit kann die Kaltluft für die Konservierung von Nahrungsmitteln, zumal von Fleisch gewinnen. Die Pariser Markthallen besitzen grosse Druckluftanlagen zu dem genannten Zweck. Auch die Transportschiffe, welche aus Amerika und Australien frisches Fleisch nach Europa bringen, verwenden meistens Kaltluft, um die Kühllhaltung ihrer Eiskammern zu begünstigen und zu verstärken.

Sieht man von der Erzeugung der Druckluft in Centralstationen ¹⁾ ab, so lassen sich noch sehr viele Zwecke nennen, für die verdichtete Luft zur Verwendung kommt.

1) Es versteht sich von selbst, dass es unter Umständen auch bei den früher erwähnten Betrieben vorteilhaft ist, die Druckluft selbst zu erzeugen, falls keine Centrale vorhanden ist.

Zuerst sei hier der *Torpedo* genannt, der die gefährlichste Angriffswaffe der maritimen Kriegskunst darstellt. Ursprünglich von *Whitehead* erfunden, hat er bis zu seiner jetzigen Gestaltung mannigfache Verbesserungen und Veränderungen erfahren. Der *Torpedo* besteht aus einem runden, gestreckten, etwa 5 m langen, hohlen Bronzekörper, der an der dicksten Stelle etwa 45 cm Durchmesser hat und sich cigarrenartig vorn und hinten zuspitzt. Die vordere Spitze ist mit einem Anschlagzünder versehen; hinter diesem sitzt die Sprengladung, die aus gepresster Schiessbaumwolle besteht. Weiter befindet sich im *Torpedo* ein Kessel von etwa 1,5 m Länge, der die mittelst einer besonderen Pumpe bis auf 90 Atmosphären komprimierte Pressluft aufnimmt. Die Pressluft dient zum Betriebe der Maschine, die hinter dem Luftkessel untergebracht ist. Die Bewegung der Maschine überträgt sich nach hinten auf ein Paar dicht hintereinander liegender, in entgegengesetzter Richtung rotierender, aber auch entgegengesetzt gewundener und daher in demselben Sinne wirkender Schraubenpropeller. Die sonstigen, sehr sinnreichen Mechanismen des *Torpedos*, die die Einstellung seines Ganges unter dem Wasserspiegel, seine Steuerung, sowie selbstthätig seine Versenkung (wenn er sein Ziel verfehlt) bewirken, können hier nicht besprochen werden. Der *Torpedo* wird aus Metallkanonen oder aus Lancierrohren, die sich in der Schiffswand befinden¹⁾, abgeschossen, und zwar geschieht auch dies in der Regel mittelst komprimierter Luft. Eine besondere Vorrichtung am *Torpedo* bewirkt es, dass seine Maschine erst in Gang kommt, wenn der *Torpedo* in das Wasser eintaucht. Die Maschine vermag den *Torpedo* mit einer Geschwindigkeit von etwa 15 m in der Sekunde bis auf ungefähr 600 m zu treiben. Stösst er gegen ein Hindernis (Schiffswand), so kommt durch den Zünder die Sprengladung zur Explosion. —

An dieser Stelle mag auch auf die *Windbüchse* hingewiesen sein. Bei dieser wird verdichtete Luft direkt zur Bewegung der Büchsenkugel verwendet. Nach der Form unterscheidet sich die *Windbüchse* kaum von anderen Handfeuerwaffen. Ihr Kolben lässt sich vom Lauf abschrauben und enthält den Luftbehälter (*Windkammer*) aus Schmiedeeisen. An dem engen Ende ist die *Windkammer* durch ein Ventil geschlossen, das sich nur nach innen öffnen kann und einen abgestumpften Metallkegel bildet; dieser wird durch eine Spiralfeder luftdicht gegen die Ventilöffnung gepresst. Als Kompressionspumpe dient eine kleine Handpumpe, wie sie unten erläutert ist. Die Kompression muss mit einigen Pausen geschehen, da sich sonst die

1) Während sich früher die Lancierrohre unter Wasser befanden, werden dieselben jetzt meistens etwa 1 m über dem Wasserspiegel angebracht.

verdichtete Luft stark erhitzt und entweder direkt den Luftbehälter sprengt oder aber dies indirekt thut, indem die Hitze das zum Schmieren des Ventils dienende Öl entzündet. Die Zahl der Kolbenstösse, wodurch die Luft in der Kammer höchstens verdichtet werden darf, ist gewöhnlich auf der Windbüchse eingraviert. Ist die Kompression beendet, so wird der Lauf wieder an den Büchsenkolben angeschraubt und eine Kugel eingeladen. Das Schloss der Windbüchse ist so eingerichtet, dass bei der Bewegung des Abzugs ein Metallstab für einen Augenblick das Ventil der Windkammer öffnet; aus dieser strömt dann ein Teil der verdichteten Luft von hinten in den Lauf und treibt die Kugel mit hinreichender Geschwindigkeit hinaus. Der Knall der Windbüchse ist sehr schwach; wegen der Gefährlichkeit ihrer Handhabung ist sie in den meisten Ländern verboten. Mit der Durchschlagskraft moderner Feuerwaffen können sich die Windbüchsen nicht messen; ein grosser Nachteil besteht ferner darin, dass die Spannung der Luft und damit auch die Geschwindigkeit der Büchsenkugel mit jedem Schuss etwas geringer wird.

Die Handpumpen, wie sie zur Kompression der Luft bei der Ladung der Windbüchse benutzt werden, haben grosse Ähnlichkeit mit den „Luftpumpen“, die die Radfahrer zum Aufpumpen der Gummireifen des Rades verwenden. Diese Pumpen bestehen aus einer Metallröhre, deren Innendurchmesser durch sorgfältigen Ausschiff überall auf genau gleiche Weite gebracht ist. In diesem Cylinder bewegt sich der gut gedichtete Kolben, der in eine Stange ausläuft; letztere ist ausserhalb des Cylinders mit einem Handgriff versehen. Bewegt man den Kolben im Cylinder hin und her, so treten zwei Ventile in Thätigkeit, von denen das eine beim Zurückziehen des Kolbens Luft von aussen in den Cylinder eintreten lässt, während das andere beim Hineindrücken des Kolbens die komprimierte Luft in ein Rohr überführt, das durch ein Schraubengewinde mit dem aufzupumpenden Reifen des Rades — oder im vorgenannten Falle mit der Kammer der Windbüchse — verbunden wird. Ein Zurückströmen der verdichteten Luft in umgekehrter Richtung wird durch die Ventile unmöglich gemacht.

Es sei hinzugefügt, dass die verdichtete Luft in den Gummireifen (Pneumatics) durch ihre grosse Elastizität die Wirkung von Stössen ausserordentlich abschwächt und so die Leichtigkeit des Ganges erhöht. Mit den Pneumatics zusammen gehören die Luftpuffer, auch Luftfedern und Luftkissen genannt. Der Luftpuffer ist ein elastisches Kissen, das dadurch gebildet wird, dass man in einem einseitig verschlossenen, starkwandigen Cylinder einen dichtschliessenden Kolben beweglich macht. Die beim Hineindrücken des Kolbens komprimierte Luft sucht diesen wieder zurück-

zutreiben, wirkt also wie eine Metall- oder Kautschuckfeder. Unter den zahlreichen Anwendungsarten der Luftpuffer seien nur die jetzt vielgebrauchten automatischen Thürschliesser genannt. —

Nur kurz möge ferner darauf hingewiesen sein, dass die komprimierte Luft Anwendung findet, um Taucher mit der nötigen Atmungsluft zu versorgen, um das Wasser aus Taucherglocken zu verdrängen, und namentlich um ein Arbeiten in den heutzutage bei Brückenbauten viel verwendeten Taucherkästen¹⁾ zu ermöglichen. Auch zum Betriebe von Eisenbahnen (Strassenbahnen) hat man sich an einigen Orten der komprimierten Luft bedient.

Hat sich bisher der pneumatische Betrieb zur Beförderung von Personen und grösseren Lasten nicht in nennenswertem Masse einbürgern können, so ist dies doch der Fall gewesen zum schnellen Transport von Briefschaften. Es hat dieses System, das den Namen Rohrpost führt, Eingang in die meisten Grossstädte gefunden. Das Prinzip dieser Beförderungsweise beruht darauf, dass die Briefe in kleine metallene Büchsen gelegt, und diese durch die unterirdisch verlegten Rohre hindurchgeblasen oder hindurchgesaugt werden. Die Bewegung der Büchsen wird nämlich durch die Luftdruckdifferenz zwischen der Absendungs- und Empfangsstation bewirkt. Dabei wird ein Teil der Strecken mit verdichteter, der andere Teil mit verdünnter Luft betrieben. Die Luftpumpen sind nämlich so eingerichtet, dass sie nach der einen Seite verdichtete Luft in die Rohrleitung hineinpressen, während aus einer anderen Leitung Luft abgesaugt wird. Die zu versendenden Gegenstände bestehen aus Rohrpostbriefen²⁾, Rohrpostkarten und Depeschen; diese Sendungen werden gerollt in die Depeschenbüchsen (Kapseln aus Stahlblech) verpackt. Mehrere solcher Büchsen zusammen bilden einen Zug und werden hintereinander in die Rohrleitung eingelegt; ein Kolben mit einer Art Lederstulpdichtung bildet den Schluss eines jeden Zuges. Die Rohrleitungen bestehen aus schmiedeeisernen, geschweissten Röhren von 65 mm innerem Durchmesser. Die einzelnen Rohrstücke sind durch Flantschen und Schrauben verbunden; Krümmungen mit einem kleineren Radius als 8 m dürfen nicht vorkommen. Die Depeschenröhren liegen etwa 1 m unter dem Strassendamm. Die Luftpressung in den Röhren beträgt 1,5 bis höchstens 2 Atmo-

1) Taucherkästen unterscheiden sich nicht unwesentlich von Taucherglocken. Erstere bleiben nach dem Aufbau des Brückenpfeilers gewöhnlich zum Schutz desselben im Wasser versenkt, während die eigentlichen Taucherglocken wieder heraufgezogen und bei Bedarf nach andern Orten transportiert werden.

2) Bedingung für die Sendungen ist, dass sie leicht sind; ein Rohrpostbrief soll nicht mehr als 10 g wiegen.

sphären; die Luftverdünnung wird bis auf $\frac{1}{4}$ Atmosphäre getrieben. Die Geschwindigkeit, womit sich die Züge bewegen, beläuft sich durchschnittlich auf 15 m, im Maximum auf 20 m in der Sekunde.

Ausserordentlich wichtig ist eine Vorrichtung geworden, die ebenfalls nur noch mit komprimierter Luft betrieben wird, obwohl ursprünglich vom Erfinder ein Dampfstrahl anstatt der Luft vorgeschlagen war. Gemeint ist das Sandstrahlgebläse, das von Tilghman erfunden ist.

Das Sandstrahlgebläse ist eine Vorrichtung zum Schleifen von Glas und Metall mittels fortgeschleudeter Sandkörnchen. Bei der neuesten Konstruktion ist die Anordnung so getroffen, dass feiner Sand in einem geschlossenen Gefäss herunterrieselt, und zwar sind zu diesem Zwecke darin mehrere Trichter übereinander angebracht. Gepresste Luft strömt durch ein Rohr in das Gefäss, reisst den Sand mit sich und tritt aus einem andern Rohr wieder heraus.

Der mit der Luft fortgeschleuderte Sand zeigt ausserordentliche Kraft, und es müssen, wie gleich hier bemerkt sei, die Arbeiter nicht nur Handschuhe sondern auch Gesichtsmasken tragen, um gegen Beschädigungen durch den zurückprallenden Sand geschützt zu sein.

Die erste Anwendung fand das Sandstrahlgebläse zur Verzierung von Glas, derart dass man darauf matte Figuren auf blankem Grunde und umgekehrt blanke Figuren auf mattem Grunde erzeugte. Um diese Wirkung hervorzubringen, bedient man sich jetzt sogen. Schablonen, d. h. dünner Papierblätter, auf denen die Muster (die blank bleiben sollen) mit einer besonderen, für den Sandstrahl undurchdringlichen Farbe gedruckt sind. Nachdem man eine solche Schablone mit Terpentin auf die zu schleifende Glasfläche geklebt hat, wird diese dem Sandstrahl ausgesetzt: Das dünne Papier wird an den nicht bedruckten Stellen von den Sandkörnchen durchgeschlagen, und weiter wird dort auch das Glas mattiert, indem durch die Sandkörner äusserst kleine Glaspartikelchen herausgeschlagen werden. Wird das Blasen längere Zeit fortgesetzt, so erhält man sogar vertiefte Stellen, ja man kann selbst flache Reliefs erzeugen, wenn man mehrere Schablonen hintereinander benutzt.

Das Verwendungsgebiet des Sandstrahlgebläses ist aber viel grösser. Nicht nur kann man Metallflächen in ganz ähnlicher Weise wie Glas bearbeiten, sondern man benutzt das Sandstrahlgebläse auch zum Bohren von Löchern in Gestein, zum Aufrauhern (Schärfen) stumpf gewordener Feilen und namentlich zum Abkratzen von Gussstücken. Zumal bei kleinen Gussstücken (und in schwer zugänglichen Ecken und Winkeln) ist die Reinigung vom Formsand und von der Oxydschicht auf keine andere Weise

auch nur annähernd so schnell möglich, wie durch das Sandstrahlgebläse. Mit dieser Anwendungsart zusammen fällt die neue, dass man durch das Sandgebläse eiserne Brücken und Schiffsböden in sonst unerreicht schneller und gründlicher Weise reinigt: Schiffsböden und eiserne Brücken (namentlich solche am Meer) leiden sehr beträchtlich unter den Einflüssen des Salzwassers¹⁾. Die häufig nötigen Neuanstriche halten immer nur kurze Zeit, weil die unterliegende Rostschicht ein festes Haften verhindert. Hier tritt nun das Sandstrahlgebläse ausserordentlich nützlich ein, indem es die Eisenteile in wenigen Augenblicken so gründlich reinigt, dass das weiss glänzende Metall hervortritt. Nach einer Notiz in der *Scientific American* wurden bei der Reinigung einer Eisenbahnbrücke in New-York für jeden Quadratmeter Fläche 100 l Sand verbraucht, wobei 32 Pf. Kosten entstanden. Das Ausströmungsrohr des Sandstrahles trägt für solche Zwecke einen Gummischlauch, an den vorn (ähnlich einem Gartenschlauch) eine gusseiserne Ausblaseröhre mit 15 mm weiter Öffnung angesteckt ist; der Sand strömt unter 1 Atmosphäre Überdruck mit 90 m sekundlicher Geschwindigkeit aus. Die zu reinigende Fläche soll von der Ausströmungsöffnung nur wenige Centimeter entfernt sein. Durch den Schlauchansatz ist der Arbeiter in der Lage, bequem alle Teile der Fläche zu erreichen, ohne das eigentliche Gebläse immer mitführen zu müssen. Die oben angegebenen Zahlen für den Sandverbrauch und die Kosten stellen sich hier noch verhältnismässig ungünstig, weil die Brückenstäbe schmal sind. Bei der Reinigung einer zusammenhängenden Fläche, und zwar eines Schiffsbodens (des im Brooklyner Arsenal gedockten Kreuzers *Atlanta*), liess sich eine Fläche von 4,6 qm in 10 Minuten reinigen; dabei wurde ungefähr 1 t Sand verbraucht, den man in Tüchern wieder auffing²⁾.

Wir schliessen das Kapitel, das nach keiner Seite hin Vollständigkeit beanspruchen kann, mit der Erwähnung zweier besonderer Luftmotoren, und zwar zuerst der von Proell und Kummer konstruierten Gasluftmaschine. Es ist dies eine Vereinigung von Luft- und Gasmotor. Dabei ist zwischen den beiden Faktoren ein möglichst vollkommener Wärmeaustausch bei gleichzeitiger intensiver Dampfbildung herbeigeführt; der bedeutende Wärmeverlust, der den

1) Die Brücken am Meer leiden ebenso durch die dem Salzwasser gleich wirkenden Seenebel.

2) Bei der Reinigung der Brücke konnte man den Sand naturgemäss nicht wieder gewinnen, weil es sich eben nur um einzelne schmale Träger handelte, nicht um ununterbrochene Flächen.

Gasmotoren eigen ist, wird hier in bester Weise ausgenutzt, nämlich zur Vorwärmung der Druckluft. Nach den Angaben von Proell (l. c.) würde eine derartig kombinierte Maschine ungefähr mit dreimal grösserem Nutzeffekt arbeiten als der Gasmotor für sich; die Betriebskosten sollen sehr mässig sein, und ein weiterer Vorzug soll darin bestehen, dass solche Maschine keiner Schornsteinanlage und auch keiner behördlichen Konzession bedarf. Übrigens haben sich die Gasluftmaschinen trotz dieser, nach den Angaben der Erfinder geschilderten Vorzüge, bisher — soweit dem Verfasser bekannt ist — nicht einzuführen vermocht.

Zweitens ist sehr beachtenswert der Luft-Wasser-Motor in der von R. Pictet¹⁾ vorgeschlagenen Konstruktion. Pictet hat diesen Motor für den besondern Zweck berechnet, Selbstfahrer (Motorfahrzeuge) zu treiben. Es ist bisher nicht bekannt geworden, ob die Pictetsche Konstruktion, die erst aus dem vorigen Jahre stammt, schon praktisch ausgenutzt worden ist; immerhin bietet sie des Interessanten so viel, dass sie nicht ganz übergangen werden soll.

Um das Prinzip des Pictetschen Motors zu verstehen, sei an die Mitteilungen von Riedler und Proell (Seite 287) erinnert, wonach es zweckmässig ist, die Druckluft beim Eintritt in den Motor mit Wasserdämpfen zu mischen. Mit Berücksichtigung dieses Vorschlages erscheint es auch nicht ganz gerechtfertigt, wenn Pictet in der genannten Arbeit seine Verwunderung ausdrückt, dass noch niemand einen ähnlichen Vorschlag wie er gemacht habe; andererseits ist aber zuzugeben, dass zwischen jenen flüchtigen Mitteilungen und den ausserordentlich sorgfältigen und gründlichen Berechnungen des berühmten Forschers ein sehr grosser Unterschied liegt.

Der Pictetsche Motor besteht aus vier verschiedenen Teilen; dieselben sind²⁾:

„A. Ein Luftkompressor, welcher die angesaugte Luft von Atmosphärendruck bis auf 10 oder 12 Atmosphären komprimieren kann.

B. Ein Gegenstrom-Erwärmer, in welchem diese Luft, die mit einer wechselnden Wassermenge komprimiert worden ist, der Wirkung der Gase ausgesetzt wird, nachdem diese in dem Expansionscylinder gearbeitet haben.

1) Raoul Pictet. Die Automobile und die motorische Kraft. (Der Luft-Wasser-Motor.) Weimar 1898.

2) Die folgenden Ausführungen sind der Pictetschen Broschüre entnommen.

C. Ein Kessel, in welchem die schon im vorhergehenden Apparat (B) erwärmten Gase der Wirkung der hohen Temperatur ausgesetzt werden, die von dem Brennstoff: Kokes, Kohle, Holz, Petroleum u. s. w. herrührt.

D. Die Arbeitscylinder, welche von der Flamme des Brennmaterials stark erhitzt werden; dieselbe dringt darauf in den Kessel, um sich mit der Abluft zu vermischen und darauf durch den Gegenstrom-Erwärmer (B) zu gehen.

Von dort entweichen die Gase nach aussen, indem sie zugleich durch die Heftigkeit, mit der sie ausströmen, den Feuerzug erzwingen. Wie man sieht, setzt sich die Maschine aus einem Luftkompressor zusammen, welcher mit der Luft eine gewisse veränderliche Wassermenge ansaugt. Das mit der Luft beim Ansaugen vermischte Wasser zerstäubt im Cylinder und gestattet, die Luft fast ohne Erwärmung zu komprimieren. Dieses Gemisch wird zuerst im Reservoir *B* vorgewärmt, sodass der Feuchtigkeitsgehalt der Luft steigt. Der Druck im ganzen Motor bleibt derselbe, wie ihn das Kesselmanometer zeigt; dagegen steigt die Temperatur des Luftwassergemisches anhaltend, vom Ende der Kompression im Cylinder *A* an, bis zum Eintritt in den Motorcylinder *D*. Die Wasserverdampfung im Kessel *B* ist nur möglich, weil man es nicht mit gesättigten Dämpfen zu thun hat; das Volumen der Gase vermehrt sich in dem gleichen Masse, wie die Temperatur steigt. Sind Wasser und Luft durch die Erwärmung zu einem innigen Gasgemisch geworden, so erhitzt man dasselbe weiter in dem Kessel *C* und lässt es mit einer Temperatur von 300—350° in einen Cylinder mit veränderlichem Füllungsgrad¹⁾ eintreten. Die Maschine muss so berechnet werden, dass für ihre normale Arbeitsleistung die Spannung der Gase im Moment des Auspuffes (nach der Entspannung) dem Atmosphärendruck möglichst gleichkommt.

Hinzugefügt sei, dass man für Temperaturen von 300—350° nur einfach wirkende Cylinder benutzen kann, bei denen also die Gase nur auf die eine Kolbenfläche wirken; der Kolben erhält dann die Gestalt einer Kappe, deren reibender Teil sich an der Aussenluft abkühlt. Würde man doppelt wirkende Cylinder benutzen, so könnte man mit Temperaturen über 220° garnicht arbeiten, da bei der starken Erwärmung des Kolbens (auf beiden

1) Es kann hier nur orientierend bemerkt werden, dass der Füllungsgrad einer Maschine der Teil des Kolbenweges (im Verhältnis zur gesamten Cylinderlänge) ist, auf dem das bewegende Gas (Dampf) eintritt. Der übrige Teil des Kolbenweges wird zur Expansion des eingeströmten Gases benutzt; ein geringer Füllungsgrad bedingt also einen starken Expansionsgrad und umgekehrt.

Seiten) das Schmieröl sich zersetzen und die Reibung zu stark werden würde. Beim einfach wirkenden Cylinder ist eine Temperatur von 300—350° kein Hindernis, zumal wenn man dadurch, dass man den Kolben in einem Cylinder mit Kühlmantel gleiten lässt, für eine gute Reibung und Schmierung sorgt. Übrigens kann man bei so hohen Temperaturen aus den gleichen Gründen auch keine Schiebersteuerung verwenden, sondern muss anstatt dieser Klappventile anbringen. Durch ein System von Hebeln kann die Thätigkeit der Ventile von aussen geregelt werden, wodurch nicht nur der Füllungsgrad verändert, sondern auch Vor- und Rückwärtsgang des Motors ermöglicht wird. Wendet man übrigens einfach wirkende Cylinder an, so sind deren drei nötig, wenn man die Maschine für Motorwagen einrichten, also jede Totpunktstellung vermeiden und ein Anlaufen bei allen Terrainhindernissen ermöglichen will.

Ein solcher Motor ist nun deshalb so geeignet für die Automobile, weil sich seine Arbeitsleistung zu jeder Zeit bequem, leicht und schnell auf das 6—7fache steigern lässt, ohne dass er doch auf ebener Bahn ungünstig wirkte. Diese ausserordentliche Regulierungsfähigkeit erreicht man durch Änderung des Füllungsgrades, durch Änderung der Wasserbeimischung und der Erhitzung.

Es wird abzuwarten sein, ob sich der P i c e t e t s c h e Luft-Wasser-Motor, der in der Theorie sehr viel Bestechendes bietet, in die Praxis einzuführen vermag.

D. Flüssige Luft.

Schon an verschiedenen Stellen dieses Buches war von der Verflüssigung der Gase die Rede. Seite 6 wurde erwähnt, dass die frühere Vorstellung von permanenten Gasen (im Gegensatz zu Dämpfen) nicht mehr haltbar ist, nachdem man gefunden hat, dass sich jeder gasförmige Körper unterhalb einer bestimmten Temperatur (kritischen Temperatur) durch einen bestimmten Druck zu einer Flüssigkeit verdichten lässt. Der Druck, durch den ein Gas bei seiner kritischen Temperatur eben verflüssigt wird, heisst sein kritischer Druck. Die kritische Temperatur wie der kritische Druck sind spezifische Grössen, d. h. im allgemeinen verschieden für die verschiedenen Gase.

Oberhalb der kritischen Temperatur kann ein Gas durch keinen noch so hohen Druck verflüssigt werden. Erst nachdem dieses wichtige Gesetz erkannt war, gelang es zuerst Cailletet und

Raoul Pictet fast gleichzeitig (im Dezember 1877), den Sauerstoff und dann auch die meisten der übrigen „permanenten“ Gase zu verdichten — zu kondensieren. Gelang auch anfangs die Verdichtung nur vorübergehend und mit sehr kleinen Mengen, so änderte sich dies bald, namentlich durch die Bemühungen von Wroblewski, Olszewski und besonders von Dewar.

Eine besondere Schwierigkeit bei der Verflüssigung der Gase liegt darin, dass man vor allem bis auf die kritischen Temperaturen heruntergehen muss, soll die Kondensation erreicht werden. Die kritischen Temperaturen liegen aber bei den meisten Gasen ausserordentlich tief, wie dies die folgende Tabelle erkennen lässt.

	Kritische Temperatur	Kritischer Druck	Siedepunkt bei Atmosphärendruck	Gefrierpunkt
Schwefeldioxyd	+ 155°	79 Atm.	— 8°	— 76°
Ammoniak	130°	115 "	— 34°	— 77°
Stickoxydul	35°	75 "	— 88°	— 115°
Kohlendioxyd	31°	73 "	— 79°	— 65°
Äthylen	13°	52 "	— 102°	— 169°
Methan	— 82°	55 "	— 164°	— 185°
Stickoxyd	— 93°	71 "	— 154°	— 167°
Sauerstoff	— 118,8°	50,8 "	— 182,7°	
Argon	— 121°	50,6 "	— 186,9°	— 189°
Kohlenoxyd	— 140°	35 "	— 190°	— 207°
Atmosphärische Luft	— 140°	39 "	— 191°	
Stickstoff	— 146°	35 "	— 194,4°	— 214°
Wasserstoff	— 234,5°	20 "	— 243°	

Hieraus ergibt sich, dass von den genannten Gasen nur flüssiges Schwefeldioxyd, Ammoniak, Stickoxydul und Kohlendioxyd in den Handel gebracht werden können, weil in unsern Breitegraden die Temperatur im allgemeinen nicht über + 31° hinausgeht.

So leicht es ist, hohe Temperaturen zu erzielen, so schwierig ist dies bezüglich tiefliegender Temperaturen. Man kann einen Körper viel leichter auf + 2000° erhitzen, als ihn auf 200° unter 0 abkühlen.

Aus der obenstehenden Tabelle ersieht man auch den Siedepunkt der Gase unter dem gewöhnlichen Atmosphärendruck. Wird also Sauerstoff auf — 182,7° C. abgekühlt, so wird er flüssig, ohne dass dazu eine Kompression nötig wäre. Nur, wenn man den Sauerstoff bei Temperaturen zwischen — 118,8 und 182,7° kondensieren will, muss der Druck gesteigert werden.

Man kann also zur Verflüssigung der Gase verschieden verfahren, einmal, indem man gleichzeitig Abkühlung und Verdichtung

benutzt und andererseits, indem man das Gas nur abkühlt (ohne Kompression), aber dann um so viel stärker abkühlt, als die Differenz zwischen der kritischen Temperatur und dem Siedepunkt bei Atmosphärendruck beträgt.

Nun ist aber, wie erwähnt, die Erzeugung tiefer Temperaturen schwierig, während an Vorrichtungen zum Verdichten luftförmiger Körper kein Mangel ist. Deshalb ist es erklärlich, dass bei allen tiefsiedenden Gasen zuerst nur Methoden verwandt wurden, die die Verdichtung unter kombinierter Wirkung von Druck und Kälte zu erreichen strebten.

Alle Methoden zur Verdichtung von Gasen benutzen die Tatsache, dass bei der Verdunstung Wärme verbraucht, also, vulgär gesprochen, Kälte erzeugt wird.

Die Frage ist nun, wie man die Abkühlung bis zu der kritischen Temperatur erzielt?

Handelt es sich um schwer zu verdichtende Gase, so wendete Pictet dafür das „Stufenverfahren“ an. Er nahm nicht gleich die zu verdichtenden Gase selbst, z. B. den Sauerstoff in Angriff, sondern er verdichtete zuerst Kohlendioxyd, oder ein Gemisch von Kohlendioxyd mit Schwefeldioxyd (*liquide Pictet*). Die Verflüssigung gelingt hier schon bei gewöhnlicher Temperatur, wenn man den Druck entsprechend steigert. Bringt man dann das kondensierte Gas durch Aufhebung des Druckes plötzlich zum Verdunsten, so tritt durch den starken Wärmeverbrauch eine weitgehende Abkühlung ein. Lässt man flüssiges Kohlendioxyd verdunsten, so erzielt man eine Temperatur von -80° , und es zeigt sich dabei, dass durch die starke Wärmeentziehung merkwürdigerweise 1 Teil des Gases, anstatt aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand überzugehen, vielmehr fest wird, und zwar in Gestalt einer schneeartigen Masse (vgl. Seite 11).

Will man das Kohlendioxyd zum Verflüssigen anderer Gase benutzen, so ist das Erstarren eines Teiles der Masse eine unangenehme und unerwünschte Nebenerscheinung. Man begegnet ihr, indem man nicht den gesamten Überdruck von dem flüssigen Kohlendioxyd nimmt, sondern dasselbe bei 4 Atmosphären Druck verdampfen lässt; dann ist die entzogene Wärme nicht genügend, um festes Kohlendioxyd zu bilden. Ganz vermeidet man die Ausscheidung fester Masse, wenn man anstatt des Kohlendioxydes die von Pictet vorgeschlagene Mischung desselben mit Schwefeldioxyd benutzt. Die so erzielte Abkühlung bis auf -50° genügt, ein zweites schwer kondensierbares Gas, z. B. das Äthylen, zu verflüssigen, wenn man darauf den entsprechenden Druck wirken lässt. Mit dem Äthylen lässt sich dann in gleicher Weise Sauerstoff

verflüssigen, wenn man ihn komprimiert und gleichzeitig die Verdunstungskälte beim Verdampfen des Äthylens zu seiner Abkühlung verwendet.

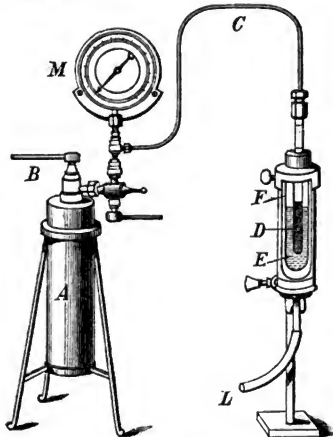


Fig. 33.

In Fig. 33 ist der Dewarsche Apparat zur Verflüssigung der Gase abgebildet: „Das¹⁾ eiserne Sauerstoff- oder Gasreservoir A wird mit Gas bis zu einem Druck von nöthigenfalls 120 Atmosphären gefüllt. Durch den Hahn B und das enge Kupferrohr C hindurch wird der Gasdruck im starkwandigen Glasrohr D, welches für die Verflüssigung dient, nach den Angaben des Manometers M reguliert. Das Glasrohr E enthält je nach Bedarf festes Kohlendioxyd, oder flüssiges Äthylen, oder Stickoxyd, durch deren Absaugen mittels einer Luftpumpe sehr starke Abkühl-

lung des Verflüssigungsrohres D bewirkt werden kann. E ist bei F mit Öffnungen versehen, sodass die entweichenden kalten Dämpfe auf ihrem Wege nach L (zu einer stark wirkenden Saugpumpe) das Verdampfungsrohr E umgeben und Wärmeleitung von aussen verhindern. Indem man so etwa -140° erreicht, genügt ein Druck von 20–30 Atmosphären, um flüssigen Sauerstoff im Rohr D zu erhalten. — Durch allmähliche Vervollkommnung seiner Apparate konnte Dewar 1894 flüssigen Sauerstoff sogar in Quantitäten von halben Litern gewinnen.“

Es ist wohl klar, dass man das expandierte Gas von der Luftpumpe aus durch einen Kompressor wieder in das Reservoir zurückleitet, also immer wieder dieselbe Menge zur Kühlung verwendet.

Pictet hat vier ähnliche Apparate wie den Dewarschen zum Zwecke der Luftkondensation mit einander vereinigt. In dem ersten wird Kohlendioxyd verflüssigt, wobei zur Kühlung nur Wasser dient. In dem zweiten Apparat benutzt man zur Kühlung die Ver-

1) Aus Krafft, Anorganische Chemie.

dunstung des im ersten Apparat verdichteten Kohlendioxydes, wodurch Äthylen kondensiert wird. Die Wärmeentziehung beim Verdunsten des letzteren dient im dritten Apparate dazu, Sauerstoff zu kondensieren, und letzterer wieder wird in derselben Weise in dem vierten Apparat dazu benutzt, Luft zu verflüssigen. —

Die bisherigen Erklärungen liessen sich nicht umgehen; sie sind zum Verständnis der Luftverflüssigung und des hierfür jetzt allein in Betracht kommenden Lindeschen Apparates unentbehrlich.

Der Lindesche Apparat baut sich auf dem Regenerativprinzip, das schon W. Siemens 1857 und Solvay 1885 auf andern Gebieten ausgenutzt haben, auf: Wenn man komprimierte Luft unter plötzlicher Ausdehnung in einen Cylinder einströmen lässt, so wird sie stark abgekühlt. Leitet man dann die so gekühlte Luft durch einen Wärmeaustauschapparat, worin sie eine andere, gleichfalls komprimierte, von der entgegengesetzten Seite in den Austauschapparat eintretende Luftmenge stark abkühlt, so wird die Temperatur dieser letzteren bei einer plötzlichen Entspannung noch tiefer erniedrigt werden. Wiederholt man diesen Prozess der gegenseitigen Abkühlung mehrmals, so steigert sich die Wirkung immer mehr; die Temperaturerniedrigung wird so bedeutend, dass die Luft schliesslich ohne Kompression verflüssigt wird.

Die Lindesche Maschine ist in Fig. 34 schematisch wiedergegeben; sie besteht aus einem Luftkompressor und einem Gegenstromapparat.

Bei *L* wird fortwährend Luft angesaugt und durch den Kompressor *C* auf 175 bis 200 Atmosphären verdichtet. Um die bei der Kompression frei gewordene Wärme (vgl. Seite 283) zu verlieren, strömt die komprimierte Luft durch den Wasserkühler *W* und tritt dann abgekühlt in das Röhrensystem *R* ein. Es besteht dieses aus zwei in einander steckenden Schlangenrohren,

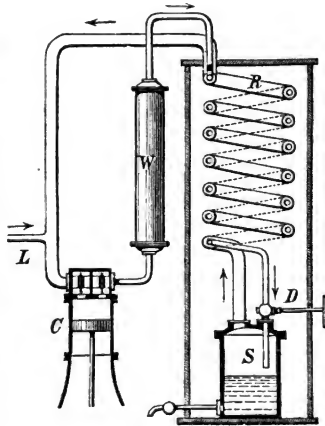


Fig. 34.

die im Verlauf der Windungen mit einander keine Verbindung haben. Die Luft durchströmt zuerst das innere Schlangenrohr und tritt durch das Drosselventil *D* am untern Ende in das Sammelgefäss *S* ein, wobei sie plötzlich entspannt wird. Die Folge ist eine starke Abkühlung der komprimierten Luft, die nun von *S* in dem äusseren Schlangenrohr des Gegenstromapparates wieder aufsteigt (zum Kompressor *C* zurück) und auf diesem Wege die in entgegengesetzter Richtung durch das innere Rohr strömende komprimierte Luft stark abkühlt. Dieses zweite Luftquantum wird also bei seiner Entspannung (nach dem Durchtritt durch das Ventil *D*) viel stärker abgekühlt sein als das erste Luftquantum. Strömt die stärker abgekühlte Luftmenge ihrerseits durch das äussere Schlangenrohr nach oben, so wird sie das jetzt im innern Rohr herabströmende Quantum komprimierter Luft noch stärker abkühlen u. s. w.: Je mehr bei der Fortsetzung dieses Kreislaufes die komprimierte Luft vor ihrer Entspannung abgekühlt worden ist, um so kälter ist sie nach derselben und um so stärker abkühlend wirkt sie wiederum auf die fortgesetzt neu zuströmende komprimierte Luft. Schliesslich wird ein Teil der Luft flüssig und sammelt sich in dem Gefäss *S* an; diesem kann sie durch einen seitlichen Abflusshahn entnommen werden.

Die Lindesche Maschine erregte, als sie im Mai 1895 zuerst vorgeführt wurde, das grösste Aufsehen; sie erzeugt ununterbrochen verflüssigte atmosphärische Luft, und zwar stündlich mehrere Liter. Inzwischen hat sie durch ihren Erfinder mehrfache Verbesserungen erfahren, auf die wir wenigstens teilweise kurz hinweisen wollen ¹⁾:

Es wird ein zweicylindriger Luftkompressor verwendet. Der grössere der beiden Cylinder pumpt ein Luftquantum von aussen in die Saugleitung des kleinen Cylinders hinein, nachdem er es auf 16 Atmosphären komprimiert hat. In dem kleinen Cylinder wird die Luft weiter auf 200 Atmosphären verdichtet, dann durch einen Kühlapparat von der entwickelten Wärme befreit und schliesslich in den Gegenstromapparat eingeleitet. Übrigens hat Linde zuletzt auch den Kühlapparat fortgelassen und spritzt dafür in der schon früher erörterten Weise (Seite 283) Wasser in den (grösseren) Niederdruckcylinder des Kompressors, um die Endtemperatur der Verdichtung zu erniedrigen. Dieses Wasser, und der Wasserdampf der verwendeten Luft überhaupt, müssen der komprimierten Luft vor ihrem Eintritt in den Gegenstromapparat vollständig entzogen werden, weil sich der Apparat sonst durch Eis verstopft; diese Entfernung

1) Man vergleiche Dinglers Polytechnisches Journal: Bd. 303, 40 und Bd. 309, 159.

des Wassers aus der komprimierten Luft erreicht L i n d e durch einen besonderen „Wasserabscheider“ und durch eine mit entwässertem Calciumchlorid gefüllten Spirale ¹⁾).

Der Gegenstromapparat besteht bei den verbesserten L i n d e s c h e n Maschinen aus einer Spirale, die durch Ineinanderstecken von drei je 100 m langen Kupferröhren hergestellt ist. Die unter 200 Atmosphären Druck stehende Luft strömt von oben in die innerste der Kupferröhren ein und gelangt am untern Ende dieses Rohres nacheinander zu zwei Ventilen. Das erste Ventil reduziert den Druck auf 16 Atmosphären und hat Verbindung mit der mittleren der drei Spirälöhren, durch welche die nun unter 16 Atmosphären stehende Luft nach oben zurückströmt; sie gelangt dann wieder in den kleinen Hochdruckcylinder des Kompressors, wo sie aufs neue auf 200 Atm. komprimiert wird, um dann wieder ihren Kreislauf durch das innerste Spirälrohr nach unten anzutreten. Nun wird aber, wie erwähnt, fortwährend ausserdem noch eine gewisse (kleinere) Luftmenge durch den Niederdruckcylinder aus der Atmosphäre angesaugt und ebenfalls dem Hochdruckcylinder zugeführt. Soll also der Druck im Gegenstromapparat konstant bleiben, so muss eine gleiche Luftmenge den Kreislauf an einer andern Stelle verlassen. Dies geschieht am untern Ende des Gegenstromapparates gleich hinter dem ersten Reduktionsventil (von 200 auf 16 Atmosphären); dort ist ein zweites Ventil angebracht, das eine regulierbare Luftmenge ausströmen lässt, und zwar mit der weiteren Reduktion von 16 auf 1 Atmosphäre. Die so abströmende Luft gelangt in eine Dewarsche Glasflasche, wie sie unten beschrieben wird; ein Teil der Luft wird hierbei, nachdem der Apparat $1\frac{1}{2}$ —2 Stunden gearbeitet hat, flüssig und sammelt sich in der Glasflasche an. Es beträgt dann die Temperatur -191° , wobei die Luft flüssig wird, ohne dass Überdruckerfordernisch wäre. Ausser der Dewarschen Flasche ist noch ein Hahn vorhanden, aus dem die flüssige Luft abgelassen werden kann. Mittels Filtrierens durch gewöhnliches Fliesspapier lässt sich die durch beigemengtes festes Kohlendioxyd milchig getrübe Luft filtrieren und bildet dann eine wasserhelle, schwachbläuliche, an der Luft nicht rauchende Flüssigkeit, die aus einem Gefäss in ein anderes gegossen werden kann.

Über den L i n d e s c h e n Apparat sei noch bemerkt, dass das dritte, äusserste Spirälrohr nur zur Isolierung gegen die Wärme dient; es wird mit roher Schafwolle gefüllt. Das Gewicht des Gegenstromapparats mit dem anschliessenden Sammelgefässe für die verflüssigte Luft und mit Zubehör beträgt ungefähr 1300 kg.

1) Entwässertes Calciumchlorid saugt begierig Wasser an.

Das schon erwähnte Dewarsche Aufbewahrungsgefäß für die flüssige Luft besteht aus einer doppelwandigen Flasche; der abgeschlossene Raum zwischen beiden Wandungen ist durch Auspumpen möglichst luftleer gemacht. So ist eine Wärmezufuhr durch Leitung nach dem innern Behälter unmöglich gemacht. Um auch die Wärmestrahlung zu beseitigen oder wenigstens sehr einzuschränken, versieht man die innere Wandung der Flasche mit einem stark glänzenden Spiegeltüberzug. Die Dewarschen Flaschen muss man, wenn sich flüssige Luft darin befindet, offen lassen, damit kein gefährlicher Druck im Innern entsteht; auch wird, da fortwährend kleine Mengen der flüssigen Luft verdunsten, soviel Wärme verbraucht, dass sich der übrige Teil um so länger kalt (unter -191°) und flüssig erhält. Packt man eine solche, mit flüssiger Luft gefüllte, offene Dewarsche Flasche in Watte, so verdampft unter günstigen Umständen innerhalb 3 Stunden nur etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ des Inhalts.

Es bleibt noch übrig, die Eigenschaften der flüssigen Luft kurz in Beziehung zu setzen zu den Ausblicken, die man daraus auf eine mögliche technische Verwertung dieses Körpers gewinnen kann.

Eine Ausnutzung der rein abkühlenden Wirkungen der flüssigen Luft für praktische Zwecke lässt sich vorläufig nicht erwarten. Es kann damit nicht gesagt sein, dass sich überhaupt keine Gebiete denken liessen, in denen eine solche Ausnutzung möglich wäre oder in denen sie vielleicht sogar von unabsehbarem Nutzen sein könnte. Aber das Studium der niedrigen Temperaturen ist eines der jüngsten Forschungsgebiete der Naturwissenschaften, und so erklärt es sich, dass man noch weit davon entfernt ist, starke Kältegrade in grösserem Umfange in den Dienst der Technik zu stellen¹⁾.

Immerhin kann man sich denken, dass beispielsweise die chemische Technik die flüssige Luft benutzen wird, um flüssige Körper durch Kristallisieren (Ausfrieren) von Unreinigkeiten zu befreien. Wir erwähnen beispielsweise, dass nicht nur Quecksilber in der flüssigen Luft augenblicklich gefriert, sondern dass auch Äthyläther, dessen Gefrieretemperatur bei -120° liegt, und Äthylalkohol sofort erstarren.

„Was²⁾ die chemischen Wirkungen (der flüssigen Luft) angeht,

1) Wir sehen dabei ab von der Fabrikation künstlichen Eises, für die jedoch die flüssige Luft erst in Frage kommen kann, sobald ihre Darstellung noch ausserordentlich viel billiger geworden ist.

2) Aus: P. Spies, „Flüssige Luft und tiefe Temperaturen“. Berlin 1897.

so sind dieselben von P i c t e t untersucht worden, welcher im grossen und ganzen zu dem Resultate kam, dass tiefe Temperaturen den Tod aller chemischen Vorgänge bedeuten. Dass die Fähigkeit der Körper, chemisch aufeinander zu wirken, in vielen Fällen durch die tiefen Temperaturen stark herabgesetzt wird, ist unbestreitbar. Bringt man beispielsweise metallisches Natrium in Salzsäure, so erfolgt unter Feuererscheinung die Bildung von Kochsalz; kühlt man aber beide Körper mit Hilfe fester Kohlensäure auf -70 bis 80^0 ab, so bleibt die Reaktion aus. P i c t e t hat geglaubt, auf dieses Verhalten der Körper ein neues System chemischer Synthese gründen zu können. Während bei der gewöhnlichen Methode von den zusammengebrachten Körpern alle mehr oder weniger auf alle einwirken, würde, wenn man von tiefen Temperaturen ausginge, ganz allmählich ein Körper nach dem andern in Aktion treten. Es scheint aber, als ob das P i c t e t s c h e System bis jetzt zu weitgehenden Resultaten nicht geführt habe.“

Die Bewegungsfreiheit der Moleküle eines Körpers wird durch Temperaturen, wie sie die flüssige Luft besitzt, zumeist sehr stark beeinflusst. Weiche Körper, d. h. solche, deren Moleküle sich sehr leicht verschieben lassen, werden durch Abkühlung hart; Kautschuk wird durch Eintauchen in flüssige Luft glashart und so spröde, dass man es mit einem Hammer pulverisieren kann. Metalle von geringer Elastizität werden durch starke Abkühlung sehr elastisch; beispielsweise kann man eine Glocke aus Blei zum Tönen bringen, wenn man sie durch flüssige Luft abkühlt.

Da sich der elektrische Widerstand mit sinkender Temperatur stark vermindert, so schlägt E. Thomson im *Scientific American* vor, die flüssige Luft zur Abkühlung der Drahtleitungen für den elektrischen Strom zu benutzen. Er hat dabei besonders die Elektrizitätserzeugung an grossen Wasserfällen im Auge und meint, dass von dort grosse Elektrizitätsmengen mit viel weniger Verlust als bisher ins Land geleitet werden könnten, wenn die flüssige Luft gleich mit an den Wasserfällen erzeugt würde. Richtig ist allerdings, dass nach Versuchen beispielsweise ein Platindrath bei der Temperatur der flüssigen Luft die Elektrizität etwa 3mal so gut leitet als bei gewöhnlicher Temperatur; aber bei dem Thomson'schen Vorschlag liegt eine grosse Schwierigkeit zunächst darin, genügende Wärmeisolatoren für die flüssige Luft, die die Leitungen umspülen soll, herzustellen.

Merkwürdig ist die Erscheinung, dass ausserordentlich viele Körper bei der Temperatur der flüssigen Luft phosphoreszieren, d. h. dass sie — nach vorhergegangener Bestrahlung durch Sonnen- oder elektrisches Licht — ihrerseits ein sanftes Licht (verschiedener

Färbung) ausstrahlen. — Alles in allem zeigen sich die Eigenschaften der Materie bei den tiefen Temperaturen, wie sie durch die flüssige Luft hervorgebracht werden können, zwar ausserordentlich verändert, aber der Pictetschen Lehre von „dem Tode der Materie“ bei solchen Kältegraden wird man sich im allgemeinen kaum anschliessen können.

Von weit grösserer Wichtigkeit als die direkte technische Ausnutzung der flüssigen Luft scheint ihre Verwendung zur Darstellung von Sauerstoff zu werden. (Hinsichtlich der grossen technischen Wichtigkeit des Sauerstoffgases sei auf Seite 272 ff. verwiesen; dort sind auch die übrigen Methoden der Sauerstoffgewinnung aus atmosphärischer Luft aufgeführt.)

Sobald die flüssige Luft durch Filtration von dem festen Kohlendioxyd befreit ist, besteht sie nur noch aus Sauerstoff und Stickstoff¹⁾. Aber das prozentuale Verhältnis zwischen Sauerstoff und Stickstoff ist in der flüssigen Luft ganz anders als in der gasförmigen Luft. Dies hat seinen Grund darin, dass der Stickstoff schon bei niedrigerer Temperatur siedet als der Sauerstoff (siehe Tabelle Seite 300). Noch mehr verschiebt sich aus dem gleichen Grunde dieses Mengenverhältnis, wenn man die Luft in einem offenen Gefässe stehen lässt; denn hierbei entweicht der Stickstoff viel schneller als der Sauerstoff. Man erhält auf diese Weise leicht eine flüssige Mischung, die aus $\frac{2}{3}$ Sauerstoff und $\frac{1}{3}$ Stickstoff besteht. Die Zusammensetzung dieser flüssigen „Luft“ ist also gegen die der gasförmigen Luft ($\frac{1}{5}$ Sauerstoff und $\frac{4}{5}$ Stickstoff) so erheblich verändert, dass damit ein neuer Beweis für die Seite 5 erörterte Ansicht gegeben ist, dass die Luft als ein Gemenge und nicht als chemische Verbindung aufgefasst werden muss. Je länger man flüssige Luft offen stehen lässt, um so mehr verstärkt sich ihre blaue Färbung; flüssiger Sauerstoff ist eben blau, während flüssiger Stickstoff farblos ist.

Da die nach dem Lindeschen Verfahren hergestellte flüssige Luft sehr sauerstoffreich ist, so erscheint es nur natürlich, dass sie den Prozess der Verbrennung ausserordentlich kräftig zu unterhalten vermag. Als Beispiel sei erwähnt, dass ein grosses glimmendes Holzsplit sofort mit glänzend weisser Flamme verbrennt, wenn man flüssige Luft darüber giesst; die Erscheinung ist um so überraschender, weil die flüssige Luft eine so niedrige Temperatur hat.

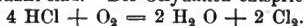
1) Das Argon erstarrt noch etwas oberhalb der Temperatur der flüssigen Luft (vgl. Tabelle Seite 300), würde also durch Filtration ebenfalls entfernt werden. Dagegen bliebe Kohlenoxyd, wenn vorhanden, der flüssigen Luft beigemischt.

Wegen des Sauerstoffreichtums der flüssigen Luft gedenkt Linde dieselbe in erster Linie zur Darstellung des technisch wichtigen Sauerstoffgases zu benutzen. Das Verfahren ist recht billig, wenn man den Sauerstoff dem Gegenstromapparate in gasförmigem Zustande entnimmt ¹⁾. Zwar ist der so gewonnene Sauerstoff keineswegs rein, sondern immer noch mit mehr oder weniger Stickstoff vermischt, aber dies kommt für die Zwecke der Technik nirgends in Betracht.

Professor W. Hempel ²⁾ erwähnt, gestützt auf mündliche Angaben von Linde, dass sich in dessen Maschine mit 1 Pferdestärke in der Stunde etwa 1 cbm 50%iger Sauerstoff darstellen lasse. Nimmt man an, dass bei Braunkohlenfeuerung die Pferdestärke etwa 1,2 Pfennig kostet, so sieht man, dass es mit der Lindeschen Maschine möglich ist, Sauerstoff, der etwa zur Hälfte mit Stickstoff verdünnt ist, für einen ausserordentlich niedrigen Preis zu liefern.

Überblicken wir die möglichen Ausnutzungsarten des so gewonnenen Sauerstoffs, so wäre zuerst natürlich alles das zu wiederholen, was darüber auf Seite 272 gesagt ist.

Weiter hat man den so erzeugten Sauerstoff verwendet, um das interessante Deaconsche Verfahren der Chlorgewinnung auszunutzen, nachdem es fast drei Jahrzehnte zwar bekannt war, aber wegen vieler praktischen Schwierigkeiten keinen Eingang in die Technik gewinnen konnte. Andeutungsweise über den Deaconschen Chlorprozess folgendes bemerkt: Chlorwasserstoff (Salzsäure) lässt sich bei einer Temperatur von 360—400° durch Sauerstoff vollständig oxydieren, wenn man das Gemenge der beiden Gase, Chlorwasserstoff und Sauerstoff ³⁾, über poröse Steine leitet, die mit Kupfersulfatlösung getränkt sind. Die Oxydation entspricht der Formel



Dabei nimmt das Kupfersulfat nur insofern an der Reaktion teil, als es bald in Kupferchlorid umgewandelt wird; dagegen sind die Beziehungen des Kupfersalzes zu der Oxydation noch völlig unaugeklärt.

Höchst interessant ist weiter die Verwendung der sauerstoffreichen flüssigen Luft als Sprengstoff. Schon früher hatte H. Sprengel,

1) Man braucht die Luft dabei nur mehrfach durch den flüssigen Zustand hindurch gehen zu lassen; wollte man den Sauerstoff als Flüssigkeit gewinnen, so würden die Kosten des Verfahrens sehr beträchtlich sein.

2) W. Hempel, „Über Prozesse, bei welchen die von C. Linde erfundene Maschine zur Erzeugung flüssiger Luft Anwendung finden kann“. Chemische Industrie, 1899 (XXII.), Nr. 1.

3) Man hat den Prozess auch direkt mit Luft auszuführen versucht, jedoch ohne dass er so praktische Bedeutung hätte gewinnen können.

ausgehend von der Erwägung, dass Sprengstoffe nichts anders sind als auf das kleinste Volumen zusammengedrückte Gase, gefolgert, dass der ideale Sprengstoff aus einem Gemisch von 8 Teilen flüssigen Sauerstoffs mit 1 Teil flüssigen Wasserstoffs bestehen müsse. War lange Zeit hindurch dieses Forschungsergebnis nur theoretisch interessant, so führte das Lindesche Verfahren dazu, einen Sprengstoff praktisch herzustellen, der dem Sprengelschen Ideal ziemlich nahe kommt. Der neue Sprengstoff, Oxyliquid und Sprengluft genannt, besteht aus einer Mischung von flüssigem Sauerstoff¹⁾ mit Holzkohlenpulver. Direkt ist diese Mischung allerdings nicht gut herzustellen, weil wegen des grossen Temperaturunterschiedes der beiden Komponenten beim Mischen ein heftiges Sieden des Sauerstoffs erfolgt. Man hat aber die Schwierigkeiten überwunden, indem man trockne Baumwolle (Watte) in einem Schüttelwerk mit dem Dreifachen ihres Gewichtes an Holzkohlenpulver imprägnierte und dann die Watte mit dem flüssigen Sauerstoff tränkte. Als Sprengstoff wirkt diese Masse nur, wenn sie mittels einer kräftigen Sprengkapsel (Knallquecksilber) zur Explosion gebracht wird; andernfalls verbrennt sie nur mit blendend weisser Flamme unter starker Wärmeentwicklung. Selbstverständlich kann das Oxyliquid nicht vorrätig gehalten werden, da der flüssige Sauerstoff bald verdampft; es werden vielmehr die Patronenhülsen nur mit der Kohlenstaubwatte gefüllt, während der flüssige Sauerstoff erst am Ort der Verwendung (unmittelbar vor dem Einlegen in die Bohrlöcher) eingegossen wird. Die Verwendung des Oxyliquides ist überall da, wo viele Sprengungen auszuführen sind, wo sich also die Aufstellung einer Lindeschen Maschine lohnt, ausserordentlich billig; deshalb beabsichtigt auch die Maschinenfabrik Gebr. Sulzer in Winterthur, bei der Bauausführung des neuen Simplon-Tunnels zu den Sprengungen das Oxyliquid zu benutzen. Der Umstand, dass die fertigen Oxyliquidpatronen nur 5—15 Minuten lang ihre volle Sprengkraft behalten (da dann der Sauerstoff verdampft), ist als besonderer Vorzug aufzufassen, weil hierdurch absolute Sicherheit gegen nachträgliche Explosion nicht entzündeter Minen geboten ist.

Auf weitere Verwendungsgebiete der flüssigen Luft hat Professor Hempel in dem vorerwähnten Artikel interessante Ausblicke eröffnet. Einzelheiten wolle man dort nachlesen; hier sei nur bemerkt, dass Hempel in erster Linie auf die vorteilhafte Verwendung des Sauerstoffs (gewonnen aus der flüssigen Luft) für die Prozesse

1) Wo hier von flüssigem Sauerstoff die Rede ist, hat man darunter die nach dem Lindeschen Verfahren erzeugte sauerstoffreiche flüssige Luft zu verstehen.

der Wassergasbereitung und für die Schmelz-, Reinigungs- und Umwandlungsverfahren der Eisenindustrie, zumal für den Bessemer Prozess, hinweist.

Nach amerikanischen Berichten ist die flüssige Luft auch berufen, eine grosse Rolle als Heilmittel zu spielen; immerhin sind diese Meldungen bisher so unbestimmt und erregen wegen der leicht möglichen schädlichen Nebenwirkungen der flüssigen Luft so viel Bedenken, dass man eingehende Versuche abwarten muss, um sich ein Urteil darüber bilden zu können.

Noch steht die flüssige Luft und das daraus leicht und billig gewinnbare Sauerstoffgas der Technik zu kurze Zeit zur Verfügung, als dass man schon jetzt eine weitgehende Ausnutzung erwarten dürfte. Aber es ist wohl nicht zu bezweifeln, dass die hochentwickelte moderne Industrie auch diesen Faktor in ihren Dienst stellen wird, den Faktor, der die Formation des Erdballs, alle Veränderungen, alles Leben bedingt und beeinflusst — die atmosphärische Luft.

Alphabetisches Namenregister.

Die Zahlen geben die Seiten an.

- Abercromby 63. 66. 102. 123. 124.
126. 129
Albert-Lévy 10
Arago 43
Assmann 186
August 175
- Babes 217
Beaufort 95. 146. 183
Bebber 142
Bellani 161
Bergmann 3
Beyerinck 248
Black 3
Blake 192
Blochmann 193
Blücher 20. 21. 28. 29. 258
Boussingault 243. 274
Boyle 41
Brewer 284
Buchner 30
Buff 84
Bunsen 6
Buys-Ballot 85. 143
- Cailletet 8. 299
Cavendish 2
Celsius 152
Cornil 217
Credner 228
Crüger 86. 88. 111. 113
- Daniell 180
Deacon 309
Dewar 300. 302. 305
Döbereiner 179
Dove 94. 101
- Drouin 193
Dumas 6
- Ebermayer 181
Emmerich 35. 155. 168. 172. 178.
206. 214. 216. 221
Ernst 165
Esmarch 225
- Fahrenheit 152
Falb 150
Ferrel 94
Ficker 223
Fischer 205. 254
Flügel 44
Flügge 3. 7. 13. 16. 20. 23. 33. 52.
55. 59. 76. 169. 179. 259. 267
Fodor 194. 196. 201. 206. 237
Fortin 165
Franck 248
Fraunhofer 194. 195. 242
Fuess 184. 185. 186
- Gautier 3. 193
Giacomo 221
Greiner 159. 161
Günther 43. 63. 90. 99. 105. 122.
144. 151
- Hann 80. 97. 99. 100. 183
Hartung 162
Hartwig 50. 114
Hazen 159
Heim 218
Hellriegel 245. 246
Helmholtz 242
Helmont 2

- Hempel 309. 310
 Henriot 10
 Herrmann 162
 Hesse 219
 Hildebrandson 71
 Hilgard 235
 Hirt 258
 Hoppe 106
 Hoppe-Seyler 194
 Howard 64. 68
 Hoyer 284
 Hueppe 224
 Humboldt 106. 114

 Ihering 283

 Jelinck 97
 Joly 26

 Kammerer 221
 Kammermann 143
 Kapeller 165
 Kassner 273. 274
 Kepler 43
 Kiessling 106
 Koch 211. 216. 217
 Köppen 71. 185
 Koppe 146. 174
 Kraft 2. 302
 Kummer 296

 Lamont 162
 Lang 143. 144
 Lavoisier 2. 3
 Leduc 3. 6
 Lehmann, K. B. 198. 258
 Lehmann 281
 Letts 192
 Leunis 231
 Ley 68
 Linde 63. 303. 308. 310
 Lunge 193

 Maddox 206
 Marun 14
 Mayer 226. 227. 241. 245
 Mayow 2
 Miquel 35. 205. 206. 214. 217. 224
 Mohn 72

 Naudet 170
 Neumayer 71
 Nobbe 248

 Ogata 258
 Olszewski 8. 300

 Palmieri 105
 Parey 113
 Pascal 42
 Pasteur 205. 217. 224
 Pawlowsky 222
 Peligot 207
 Pernter 63
 Petri 222
 Pettenkofer 189. 190
 Pfister 162
 Piche 180. 181
 Pickering 183
 Pictet 8. 297. 299. 300. 301. 302.
 306. 307. 308
 Planté 110
 Poleni 183
 Popp 285. 289.
 Potain 193
 Prazmowski 248
 Prestel 143
 Priestley 2
 Proell 286. 289. 296. 297

 Ramsay 3. 9
 Ramsden 165
 Rayleigh 3. 9
 Reaumur 152
 Regnault 6. 156
 Reimann 73. 76
 Reinsch 279
 Remsen 206
 Rennes 281
 Reuss 254
 Reye 80
 Richard frères 162. 173. 180
 Rider-Monski 281
 Riedler 283. 286. 287. 288. 297
 Riegler 181
 Ritter 43. 44
 Robinson 183
 Rutherford 2. 159. 160

 Saussure 146. 157. 174
 Schaffer 193
 Scheele 2
 Schiaparelli 44
 Schloesing 17. 237
 Schönbein 14
 Schöne 203
 Schröder 254
 Sehlen 224

Sendtner 162
Siemens 105. 303
Six 161
Smith 193. 205
Solvay 303
Soyka 238
Spies 306
Sprengel 309
Sprung 84. 184
Stas 6
Steinle 162
Stenberg 281
Strauss 224
Sulzer 310

Thomson 307
Tilghman 295
Tissandier 24
Torricelli 41. 164

Travers 3
Trillich 155. 168. 172. 178. 206. 221

Uffelmann 207

Warington 238
Wellner 235
Weyrauch 287
Wild 158. 159. 183. 185
Wilfarth 245
Winogradsky 248
Wolfenstein 16
Wollny 37. 235. 237.
Wolpert 193
Wroblewski 300
Wurster 205

Zöllner 105
Zöppritz 84

Alphabetisches Sachregister.

Die Zahlen geben die Seiten an.

A.

Abendrot 117
Ablesung, barometrische 166, 172
Absolute Feuchtigkeit 12, 56, 175, 259, 260
Absolutes Temperaturextrem 55
Absolute Wärmeschwankungen 54
Abtreiben des Silbers 269
Äquatorialgürtel 52
Äquatorialklima 55
Äquatorialstrom 101
Agrarmeteorologie 142
Aktiver Sauerstoff siehe Ozon
Alto cumulus 68, 71
Altostratus 71
Amerikanische Windräder 276
Ammoniak 17, 201, 234, 236, 257, 258
Ammoniakgärung 238
Anemograph 184, 186
Anemometer 183
Aneroidbarometer 170
Anthrakosis 262
Anticyklone 93, 125, 132
Antipassate 88
Aperiodische Wärmeschwankungen 54
Argon 89
Arsenstaub 263
Aspirationspsychrometer 177
Aspirator 189
Atmometer 180
Atmosphäre 1, 38, 42
— Einflüsse der 226
— — auf die Pflanzenwelt 239
— — auf die Tierwelt 254
— — auf Mineralstoffe 226
— — auf organische Stoffe 235

Atmosphärendruck 40, 163, 270
Atmosphärische Elektrizität 69, 105, 266
Atmosphärische Gezeiten 151
— Niederschläge 73, 181, 266
Atmung 46, 255, 270
— der Pflanzen 240
Auflösung der Mineralstoffe 230
August'sches Psychrometer 175
Ausnutzung bewegter Luft 274 ff, 280 ff.
— der Luft 263 ff.
— des Atmosphärendruckes 270 ff.
Aussauger 282
Automatische Anemometer 184, 186
— Barometer 172, 173
— Hygrometer 180
— Ombrometer 182
— Thermometer 162, 163
— Thürschliesser 294

B.

Bacillen 29, 31, 209
Bakterien 29, 31, 209
Bakteriologische Luftuntersuchung 209 ff.
Barisches Windgesetz 85
Barometer 41, 163
Barometrische Ablesung 166, 172
— Korrektion 167, 168, 169, 172
Barometrischer Gradient 86
Barometrisches Maximum 48, 84, 92
— Minimum 48, 84, 92
Baumwollstaub 263
Beaufort's Wetterbezeichnung 146
— Windskala 95, 183
Benzin 22

Bergkrankheit [44](#)
 Bewegung der Luft [82](#)
 Bewölkung [61](#)
 Bewölkungsgrad [72](#)
 Bewölkungsskala [72](#)
 Biologische Untersuchung der Luft [209](#)
 Birnbarometer [164](#)
 Blasebalg [284](#)
 Blechgehäuse nach Wild [158](#)
 Bleistaub [263](#)
 Blitz [107](#)
 Blitzbahn [109](#)
 Blitzschläge [111](#), [267](#)
 Bockwindmühle [276](#)
 Böen [104](#)
 Bora [97](#)
 Büschellicht [109](#)
 Buys-Ballotsches Gesetz [85](#)

C.

Siehe auch unter K.

Calmgürtel [76](#), [87](#)
 Centrifugalgebläse [285](#)
 Centrum (einer Cyklone) [126](#)
 Chamsin [59](#), [61](#), [261](#)
 Chemische Untersuchung [186](#)
 Chlor [201](#), [258](#)
 Chlorophyll [289](#), [240](#), [241](#)
 Chlorwasserstoff [201](#), [253](#), [258](#)
 Cirrocumulus [68](#), [67](#), [71](#)
 Cirrostratus [67](#), [71](#)
 Cirrus [65](#), [67](#), [71](#)
 Cirrusnebel [70](#)
 Cirrussehleier [70](#), [71](#)
 Cirrusstreifen [71](#)
 Cryptokokken [28](#)
 Cumulocirrus [66](#), [68](#), [71](#)
 Cumulonimbus [68](#), [71](#), [72](#)
 Cumulostratus [68](#), [71](#)
 Cumulus [64](#), [67](#), [71](#), [72](#)
 Cyklone [93](#), [124](#), [126](#)
 Cylindergebläse [284](#)

D.

Dämmerung [115](#)
 Dampfgebläse [284](#)
 Daniell'sches Kondensationshygrometer [180](#)
 Darstellung von Sauerstoff [272](#), [273](#),
[274](#), [308](#)
 Dauerformen [31](#), [32](#), [210](#), [261](#)
 Depression [92](#), [141](#)
 Depressionsgewitter [108](#)

Deutsche Seewarte [72](#), [97](#), [142](#),
[147](#), [150](#)
 — Windmühle [276](#)
 Dewar'sche Flasche [305](#)
 Diskontinuierliche Sterilisation [211](#)
 Döbereiner'sches Kondensations-
 hygrometer [179](#)
 Doldrum [87](#)
 Donner [111](#)
 Dovesches Winddrehungsgesetz [94](#)
 Drehung des Windes [94](#), [130](#)
 Druck der Luft [40](#), [163](#), [270](#)
 — des Windes [183](#), [185](#)
 Druckluft [235](#)
 Druckpumpe [270](#), [271](#)
 Durchsichtigkeit der Luft [114](#)

E.

Ebermayer'sches Evaporimeter [181](#)
 Einflüsse der Atmosphäre [226](#)
 — — auf die Pflanzenwelt [239](#)
 — — auf die Tierwelt [254](#)
 — — auf mineralische Stoffe [226](#)
 — — auf organische Stoffe [235](#)
 Eisenlunge [262](#)
 Eisenstaub [262](#)
 Eiskristalle [78](#)
 Eisnadeln [78](#)
 Ektropengürtel [52](#)
 Elastizität der Luft [38](#)
 Elektrizität der Luft [69](#), [105](#), [266](#)
 Elmsfeuer [112](#)
 Erdöl [22](#)
 Eremakausis [235](#)
 Erfrieren [265](#)
 — der Pflanzen [252](#)
 Erhärtung des Mörtels [268](#)
 Erkältungskrankheiten [266](#)
 Es m a r c h'sche Rollröhren [225](#)
 Evaporimeter [180](#)
 Excessives Landklima [55](#)
 Exhauster [282](#)

F.

Fäulnis [235](#), [238](#)
 Fäulnisgase [23](#), [256](#)
 Fallwinde [97](#)
 Fata Morgana [116](#)
 Federbarometer [170](#)
 Federhaufenwolke [66](#), [67](#)
 Federschichtwolke [67](#)
 Federwolke [65](#), [67](#)
 Fette, Ranzigwerden der [238](#)
 Feuchte Sterilisation [211](#)

Feuchtigkeit 11. 56. 173. 228. 237.
250. 258
Feuerspritze 272
Flächenblitze 109
Flammenblitze 109
Flügelradgebläse 285
Flüssige Luft 299. 306
Flüssiger Sauerstoff 300. 302. 309
Flugstaub 24
Fön 98. 261
Föngewölk 99
Fönmauern 99
Fortinsches Gefässbarometer 165
Fraktocumulus 70
Fraunhofersche Linien 194. 195.
242

G.

Gasaustausch der Pflanzen 233. 239.
240
Gasluftmaschine 296
Gasolin 22
Gebläse 232. 234. 235
Gefässbarometer 165
Gehobene Nebel 72
Gemässigte Zone 52
Geoïd 39
Geradlinige Isobaren 125. 136
Geschwindigkeit des Windes 85. 95.
96. 97. 133. 134
Gesetz von Buys-Ballot 85
Getürmter Cumulus 71
Gewächse, Gasaustausch der 233.
239. 240
Gewitter 106
Gewitterbildung 106
Gewitterböen 104
Gewittercumulus 107
Gewitterprognose 143
Gewitterwolken 106
Gezeiten, atmosphärische 151
Gradient 86
Graupeln 79
Greinerscher Thermometrograph
159
Grobe Staubpartikel 24
Grubengas 22

H.

Haarhygrometer 146. 174
Hagel 79. 107
Hagelbildung 80
Hagelwolken 80
Halbe Beaufortskala 96. 133

Hannsche Windskala 97. 133
Haufenfederwolke 68
Haufenschichtwolke 68
Haufenwolke 64. 67
Heber 272
Heberbarometer 165
Hefenpilze 28. 209
Heissluftmaschinen 280
Hessische Methode 219
Hitzschlag 264
Höhe der Wolken 67. 71
Holländische Windmühle 276
Holosteriebarometer 170
Holzstaub 263
Hüttenrauch 253
Hydratbildung der Mineralstoffe 230
Hydraulische Gebläse 284
Hydrometeore 143. 181
Hygiene der Luft 254
Hygrometer 174. 179. 180
Hygroskope 180

I.

Infektiöser Staub 263
Isobaren 47. 48. 148
Isobarenformen 123
Isobarenkarten 123
Isothermen 51. 149

K.

Siehe auch unter C.

Kalmgürtel 76. 87
Kalorische Maschinen 230
Kalte Schläge 111
Kalte Zone 52
Kaltluft 287. 290. 291
Kamm (eines Keiles) 134
Karbonatbildung 230
Karten, synoptische 122
Keil 125. 134
Kimmung 116
Klima 55
Kloakengas 20
Kochsche Kulturmethode 217
Kochscher Dampfkochtopf 211
Kohlendioxyd 3. 10. 186. 228. 229.
239. 240. 241. 242. 243. 255. 256
Kohlendunst 21
Kohlenlunge 262
Kohlenoxyd 21. 193
Kohlenruss 25
Kohlensäure siehe Kohlendioxyd
Kohlensäurebindung 230
Kohlenstaub 262

- Kohlenwasserstoffe **22**
 Kokken **31**
 Kompensationsstreifen **154**
 Kompressionsmaschinen **282**
 Kompressionspumpen **282, 293**
 Kompressoren **283**
 Komprimierte Luft **284, 285 ff., 292 ff.**
 Kondensation **12, 57, 61, 69**
 Kondensationshygrometer **145, 179, 180**
 Koppesches Haarhygrometer **146, 174**
 Korrektur, barometrische **167, 168, 169, 172**
 Kritischer Druck **8, 299**
 Kritische Temperatur **8, 299**
 Krypton **3**
 Küstenwinde **90**
 Kugelblitz **110**
 Kugeliger Altocumulus **71**
 — Cumulus **71**
 Kulturmethoden **212, 214 ff.**
- L.**
- Lämmerwolken **67**
 Landbrisen **90**
 Landklima **55**
 Landregen **74**
 Landskala **96**
 Landwinde **90**
 Latrinengas **20**
 Leguminosen **245, 246**
 Leichte Wölkchen **70**
 Leitung der Wärme **50**
 Leuchtgas **22**
 Licht **114, 237, 241, 253, 266**
 Lichtleitung **114**
 Lichtstrahlen **114, 241, 242**
 Lignoïn **23**
 Lindescher Apparat **303**
 Linienblitze **109**
 Liniencumulus **71**
 liquide Pictet **301**
 Lokale Gewitter **108**
 Luft, Durchsichtigkeit der **114**
 — Flüssige **299 ff., 306**
 — Physik der **33**
 — Untersuchung der **152**
 — Verdichtete **282 ff.**
 — Zusammensetzung der **3, 4**
 Luftbewegung **82, 182**
 Luftbewegungsmaschinen **282**
 Luftdruck **40, 163, 270**
 Luftdruckschwankungen **47, 267**
- Luftexpansionsmaschinen **280**
 Luftfedern **293**
 Luftfeuchtigkeit **11, 56, 173, 228, 237, 250, 258**
 Luftpuffer **293**
 Luftpumpe **282**
 Luftschiffahrt **272**
 Luftspiegelung **116**
 Luftstaub **24, 205**
 Luftströmungen **82, 182**
 Lufttemperatur **49, 152, 237, 250, 264**
 Luftthermometer **154**
 Lufttransportmaschinen **282**
 Luftverdichtung **299 ff.**
 Luftverdichtungsmaschinen **282**
 Luftwärme **49, 152, 237, 250, 264**
 Luft-Wassermotor **297**
 Luftwirkungen auf die Pflanzenwelt **239**
 — auf die Tierwelt **254**
 — auf Mineralstoffe **226**
 — auf organische Stoffe **235**
 Lunardut der Atmosphäre **151**
- M.**
- Makreliger Himmel **71**
 Maximum, barometrisches **48, 84, 92**
 Maximumthermometer **159, 160, 161**
 Mehlstaub **263**
 Menschen, Einfluss der Luft auf die **254 ff.**
 Metallthermometer **154**
 Metallthermometrograph **162**
 Metargon **3**
 Meteorologie **121**
 Methan **22**
 Miasmen **24, 256**
 Mikrokokken **31**
 Mikroorganismen **28, 209, 263, 266, 267**
 Minengase **22**
 Mineralstoffe, Luftwirkungen auf **226**
 — Zersetzung der **230**
 Minimum, barometrisches **48, 84, 92**
 Minimumthermometer **159, 160, 161**

Miquelsche Methode 214
 Mistgrubengas 20
 Mittleres Temperaturextrem 55
 Mörtel, Erhärtung des 268
 Mohnsche Bewölkungsskala 72
 Monsune 90
 Morgenrot 117

N.

Nachtfrost 143, 144
 Nährbouillon 212
 Nährgelatine 213
 Nährsubstrate 211 ff.
 Naphtalin 23
 Nasse Kompressoren 283
 Naudetsches Federbarometer 170
 Nebel 27, 61, 72
 Nebenregenbogen 119
 Neon 3
 Neptunisten 226
 Niederschläge 73, 181, 266
 Nimbus 65, 67, 68, 71
 Nitrate siehe Salpetersäure
 Nitrifikation 236
 Nitrite siehe Salpetrige Säure

O.

Oberpassate 88
 Ombrometer 181
 Organische Beimengungen 206
 Organischer Luftstaub 206
 Organische Stoffe, Luftwirkung auf 235
 — Stoffe, Oxydation der 236
 Orkane 97
 Oxydation der Mineralstoffe 230
 — der organischen Stoffe 236
 Oxyliquid 310
 Ozon 14, 203, 257

P.

Papilionaceen 245
 Parasiten 32
 Passate 87
 Passatwinde 87
 Passatwolken 89
 Passatzone 76, 87
 Pelligotsche Röhre 207
 Periodische Wärmeschwankungen 54
 Perlenblitz 110
 Permanente Gase 8, 40, 299
 Petrische Methode 222
 Petroleum 22
 Petroleumäther 22

Pettenkofersche Kohlendioxyd-
 bestimmung 190
 — Röhre 189
 Pflanzenatmung 239, 240
 Pflanzen, Gasaustausch der 233, 239,
 240
 Pflanzenwelt, Einflüsse der Luft auf
 die 239
 Physikalische Untersuchung 152
 Physik der Luft 38
 Pichesses Evaporimeter 180, 181
 Pictetscher Motor 297
 Plutonisten 226
 Pneumatics 293
 Pneumatische Thürschliesser 294
 — Werkzeuge 289, 290
 Polargürtel 82
 Polarstrom 101
 Pressluft 285
 Pseudomorphosen 230
 Psychrometer 144, 175
 Putrefactio 235

Q.

Quarzstaub 262
 Quecksilberdämpfe 263

R.

Ranzigwerden der Fette 238
 Rauch 25
 Rauchlose Feuerung 26
 Rauchverbrennung 26
 Reduktion der Mineralstoffe 230
 Regelmässige Winde 87
 Regen 74
 Regenbildung 74, 143
 Regenbogen 118
 Regengalle 118
 Regenhöhe 76, 181
 Regenlose Zone 77
 Regenmenge 75
 Regenmesser 181
 Regenschauer 75
 Regenwolke 65, 67, 68
 Regenzeiten 77
 Regenzone 76
 Registrieranemometer 184, 186
 Registrierbarometer 172
 Registrierhygrometer 180
 Registrierombrometer 182
 Registrierthermometer 162
 Reif 74
 Relative Feuchtigkeit 12, 56, 174,
 259, 260

- Richtung des Windes [85](#), [92](#), [93](#), [94](#)
 Rinne (einer Cyklone) [126](#)
 Robinsonsches Schalenkreuzanemometer [183](#)
 Rohrpost [294](#)
 Rosschweife [128](#)
 Rotationsellipsoid [39](#)
 Rückseite (einer Cyklone) [126](#)
 Russ [25](#)
 Rutherford'scher Thermometrograph [159](#)
- S.**
- Sättigungsdefizit [12](#), [60](#), [175](#), [180](#),
[259](#), [260](#), [261](#)
 Sättigungsmaximum [12](#)
 Salpetersäure [18](#), [202](#), [234](#), [258](#)
 Salpetrige Säure [18](#), [234](#), [258](#)
 Salzsäure [201](#), [253](#), [258](#)
 Sandstrahlgebläse [295](#)
 Saprophyten [32](#)
 Sattel [125](#)
 Sauerstoff [2](#), [7](#), [228](#), [229](#), [233](#), [239](#),
[240](#), [241](#), [242](#), [243](#), [255](#), [267](#), [272](#),
[273](#), [274](#), [308](#)
 — Darstellung von [272](#), [273](#), [274](#), [308](#)
 — flüssiger [300](#), [302](#), [309](#)
 Sauerstoffmangel [45](#), [267](#)
 Saugen [46](#), [270](#)
 Saugheber [272](#)
 Saugmaschine [232](#)
 Saugpumpe [270](#), [271](#)
 Schäfchen [67](#)
 Schalenkreuzanemometer [183](#)
 Schalleitung der Luft [112](#)
 Schallwellen [113](#)
 Schichtfederwolke [67](#)
 Schichthaufenwolke [68](#)
 Schichtwolke [64](#), [67](#)
 Schimmelpilze [28](#), [209](#)
 Schizomyceten [29](#)
 Schleifstaub [262](#)
 Schleuderpsychrometer [179](#)
 Schleuderthermometer [157](#)
 Schlössen [79](#)
 Schmetterlingsblüter [245](#)
 Schnee [77](#), [182](#)
 Schneeflocken [78](#)
 Schneegrenze [78](#)
 Schneekristalle [78](#)
 Schneesterne [78](#)
 Schnelligkeit der Luftbewegung [85](#),
[95](#), [96](#), [97](#), [183](#), [184](#)
 Schutzgehäuse [153](#)
- Schwankungen der Luftfeuchtigkeit
[12](#), [57](#)
 — der Luftwärme [52](#), [265](#)
 — des Luftdruckes [47](#), [267](#)
 Schwefeldioxyd [19](#), [199](#), [253](#), [254](#), [258](#)
 Schwefelregen [25](#)
 Schwefelsäure [19](#), [200](#)
 Schwefelwasserstoff [20](#), [198](#), [258](#)
 Schweflige Säure [19](#), [199](#), [253](#), [254](#),
[258](#)
 Seebrisen [90](#)
 Seeklima [55](#)
 Seenebel [296](#)
 Seewarte, Deutsche [72](#), [97](#), [142](#),
[147](#), [150](#)
 Seewinde [90](#)
 Segelschiffahrt [279](#)
 Sekundäre Depression [125](#)
 Selbstregistrierende Anemometer [184](#),
[186](#)
 — Barometer [172](#)
 — Hygrometer [180](#)
 — Ombrometer [182](#)
 — Thermometer [162](#)
 Sickerwasser [229](#)
 Siderosis [262](#)
 Silber, Abtreiben des [269](#)
 Sirokko [261](#)
 Solaröl [22](#)
 Sommergewitter [109](#)
 Sonnenflecke, Einfluss auf das Wetter
[111](#), [151](#)
 Sonnenstäubchen [27](#), [62](#)
 Sonnenstich [264](#)
 Spaltpilze [29](#), [209](#)
 Spannkraft der Luft [38](#)
 Sphäroid [39](#)
 Sporen [31](#), [210](#)
 Sprengluft [310](#)
 Sprosspilze [28](#), [209](#)
 Stärke des Windes [85](#)
 Stationsbarometer [165](#)
 Staub [24](#), [205](#), [261](#), [262](#), [266](#)
 Staubinhalationskrankheiten [262](#), [266](#)
 Staustürme [102](#)
 Stechheber [272](#)
 Steinöl [22](#)
 Sterilisation [210](#) ff.
 Stickoxyd siehe Salpetrige Säure
 Stickstoff [2](#), [8](#), [229](#), [236](#), [243](#), [244](#) ff.,
[257](#)
 Strahlung der Wärme [49](#), [120](#), [265](#)
 Strassenstaub [24](#), [264](#)
 Stratocirrus [67](#), [71](#)

Stratocumulus 68. 71
 Stratus 64. 67. 71. 72
 Strichregen 75
 Strömungen der Luft 82. 182
 Stürme 97. 101
 Sumpfgas 22
 Symbiose 247. 248
 Synoptische Karten 122

T.

Tabakstaub 263
 Tageshelle 116
 Tau 61. 73
 Taucherglocken 294
 Taucherkästen 294
 Taupunkt 13
 Technische Ausnutzung der Luft 268
 Teilcyclone 125. 130
 Temperatur der Luft 49. 152. 237. 250. 264
 Temperaturextreme 55. 159
 Temperaturschwankungen 52. 265
 Thermograph 162
 Thermometer 152
 Thermometerskalen 152. 153
 Thermometrograph 159. 161
 Thürschliesser 294
 Tierwelt, Einflüsse der Luft auf die 254
 Tornados 102
 Torpedo 292
 Trägheitskurve 84
 Treiben des Silbers 269
 Trinken 46. 270
 Trockne Kompressoren 283
 — Sterilisation 210
 Trocknungsprozesse 280
 Trombe 104
 Tropengürtel 52
 Turbinengebläse 284
 Turmwindmühle 276

U.

Übergangsklima 55
 Unperiodische Wärmeschwankungen 54
 Unregelmässige Winde 91
 Unterpassate 88
 Untersuchung, chemische 186
 — der Luft 152
 — mykologische 209
 — physikalische 152
 Blücher, Die Luft.

V.

Ventilatoren 282
 Veränderliches Klima 56
 — Wetter 56
 Veränderliche Winde 91
 Veränderlichkeit der Temperatur 52. 56
 Verdichtung der Luft 299 ff.
 Verdunstungsmesser 180
 Verflüssigung der Luft 299 ff.
 Vermoderung 238
 Verwesung 235
 Verwitterung 231. 234
 V-förmige Depression 125
 Vibrationen 31
 Vorderseite (einer Cyclone) 126

W.

Wärme der Luft 49. 152. 237. 250. 264
 Wärmegewitter 108
 Wärmeleitung 120
 Wärmeschwankungen 52. 265
 Wärmestrahlung 49. 120. 265
 Wagebarometer 173
 Warme Zone 52
 Wasserabgabe des Körpers 259
 Wasserbindung der Mineralstoffe 230
 Wasserdampf 11. 56. 173. 228. 237. 250. 258
 Wassergas 22
 Wasserhose 104
 Wasserradgebläse 284
 Wasserstoff 3
 Wasserstoffsuperoxyd 16. 203. 257
 Wassertrommelgebläse 284
 Wetter 121
 Wetterbezeichnung 146. 147
 Wetterkarten 122. 148. 149
 Wetterleuchten 112
 Wetterprognose 121. 140
 Wetterregeln 121
 Wettersäulen 102
 Wettervorhersage 121. 140
 Wildscher Winddruckmesser 183
 Wildsches Schutzgehäuse 158
 Wimpel 185
 Wind 82. 275
 Windbäume 99
 Windbüchse 292
 Windcirrus 128
 Winddrehung 94. 130
 Winddrehungsgesetz 94

- Winddruck [183](#), [185](#)
 Winddruckmesser [183](#)
 Winde, regelmässige [87](#)
 — unregelmässige [91](#)
 — veränderliche [91](#)
 Windfahne [183](#), [185](#)
 Windgeschwindigkeit [85](#), [95](#), [96](#), [97](#),
 [183](#), [184](#)
 Windgesetz [85](#)
 Windhose [104](#)
 Windkessel [272](#)
 Windmotoren [277](#)
 Windmühlen [275](#)
 Windräder [276](#)
 Windrichtung [85](#), [92](#), [93](#), [94](#), [95](#), [182](#),
 [185](#)
 Windsbraut [104](#)
 Windskala [95](#), [96](#), [97](#), [183](#)
 Windstärke [85](#), [95](#), [96](#), [97](#), [183](#), [185](#)
 Windstille [182](#)
 Windstreifen [99](#)
 Windtage [279](#)
 Windturbinen [276](#)
 Windzonen [87](#), [92](#)
 Wintergewitter [109](#)
 Winterwolken [67](#)
 Wirbelgewitter [108](#)
 Wirbelstürme [101](#)
 Wirkungen der Luft auf die Pflanzen-
 welt [239](#)
 — — auf die Tierwelt [254](#)
 — — auf Mineralstoffe [226](#)
 — — auf organische Stoffe [235](#)
 Witterung siehe Wetter
 Wölkchen [70](#), [71](#)
 Wolken [63](#)
 Wolkenfetzen [70](#), [71](#)
 Wolkenformen [64](#), [139](#)
 — Abkürzungen der [72](#)
 Wolkenhöhe [67](#), [71](#)
 Wolkenkrausen [70](#), [71](#)
 Wollballen [67](#)
 Wollstaub [263](#)
 Wurzelknöllchen [246](#), [247](#)
- Z.
- Zellenradgebläse [235](#)
 Zickzackblitze [109](#)
 Zinkstaub [263](#)
 Zonen [52](#)
 — der Winde [87](#), [92](#)
 Züchtungsmethoden [212](#), [214](#) ff.
 Zündende Blitzschläge [111](#)
 Zusammensetzung der Luft [3](#), [4](#)

Verlag von Otto Wigand in Leipzig.

Jahresbericht
über die Leistungen
der
Chemischen Technologie
mit besonderer Berücksichtigung
der
Elektrochemie und Gewerbestatistik
für das Jahr
1898.

XLIV. Jahrgang oder Neue Folge XXIX. Jahrgang.

I.—XXV. Jahrgang bearbeitet von R. v. WAGNER.

Fortgesetzt von

Dr. Ferd. Fischer.

Mit 202 Abbildungen. Preis 24 Mark.

Handbuch
der
Chemischen Technologie.

Von

Dr. Ferdinand Fischer

in Göttingen.

(Zugleich 14. völlig umgearbeitete Auflage von R. von Wagner's
Handbuch der chemischen Technologie.)

Mit 716 Abbildungen. Preis 15 Mark.

Verlag von Otto Wigand in Leipzig.

Wörterbuch der deutschen Sprache.

Mit Belegen von Luther bis auf die Gegenwart.

Von

Dr. Daniel Sanders,

correspondierendem Mitglied der Gesellschaft für das Studium der neuern Sprachen in Berlin.

Zweite unveränderte Aufl. 2 Bände in 3 Theilen. Preis 72 M., geb. 81 M.

Handwörterbuch

der

deutschen Sprache.

Von

Dr. Daniel Sanders.

Fünfte Auflage. Gr. Lex.-8. 67 Bogen. Brosch. 7 M. 50 Pf., geb. 9 M.

Fremdwörterbuch.

Von

Dr. Daniel Sanders.

Zweite Auflage. 2 starke Bände. Gr. Lex.-8. Preis brosch. 12 M., geb. 15 M.

Verdeutschungswörterbuch.

Von

Dr. Daniel Sanders.

Gr. Lex.-8. Preis 5 M. Gebunden 6 M.

Verlag von **Otto Wigand** in **Leipzig**.

Soeben erschienen:

Gifte und Vergiftungen

sowie die

erste Hilfe in Vergiftungsfällen.

Von

S. Blücher.

Mit 7 Abbildungen im Text und 4 Tafeln in Farbentlithographie.

Preis gebunden 3 Mark.

Leipzig, Walter Wigand's Buchdruckerei.

Verlag von **Otto Wigand** in Leipzig.

Zuerst erschienen:

Gifte und Vergiftungen

sowie die

erste Hilfe in Vergiftungsfällen.

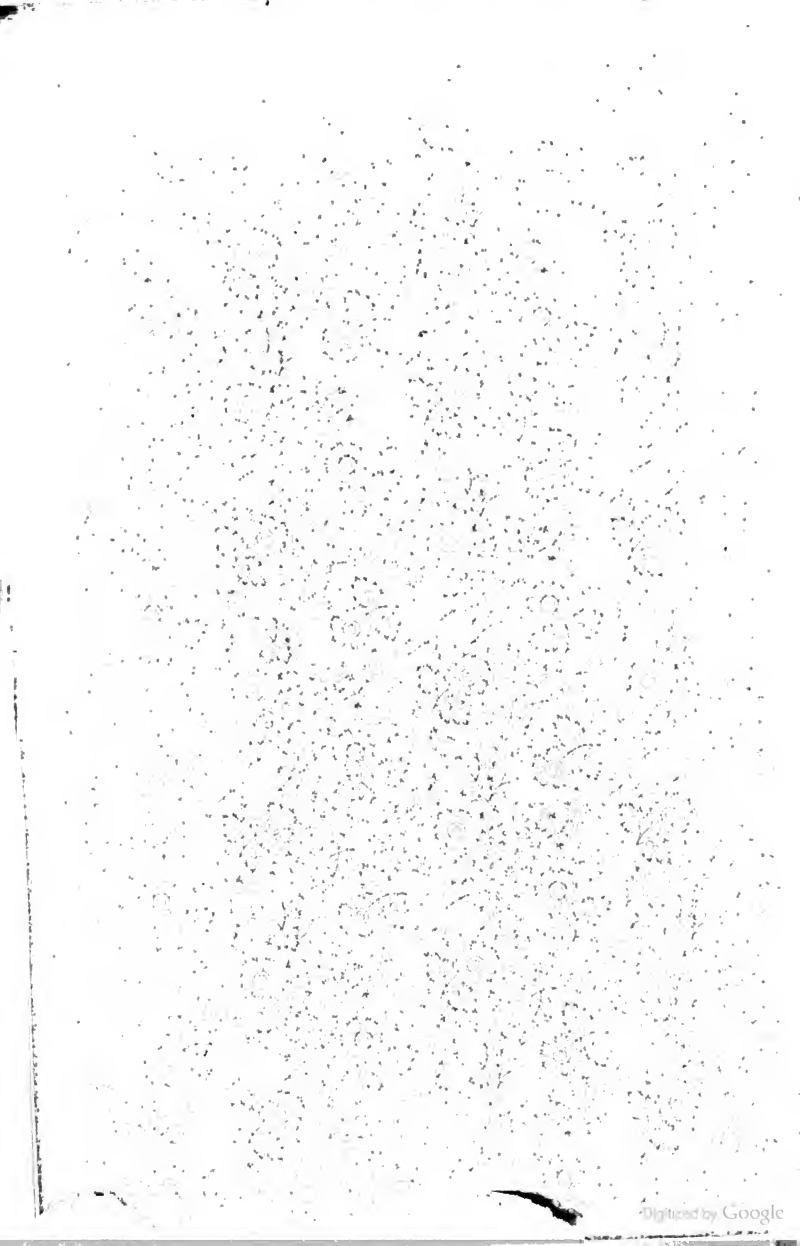
Von

S. Blücher.

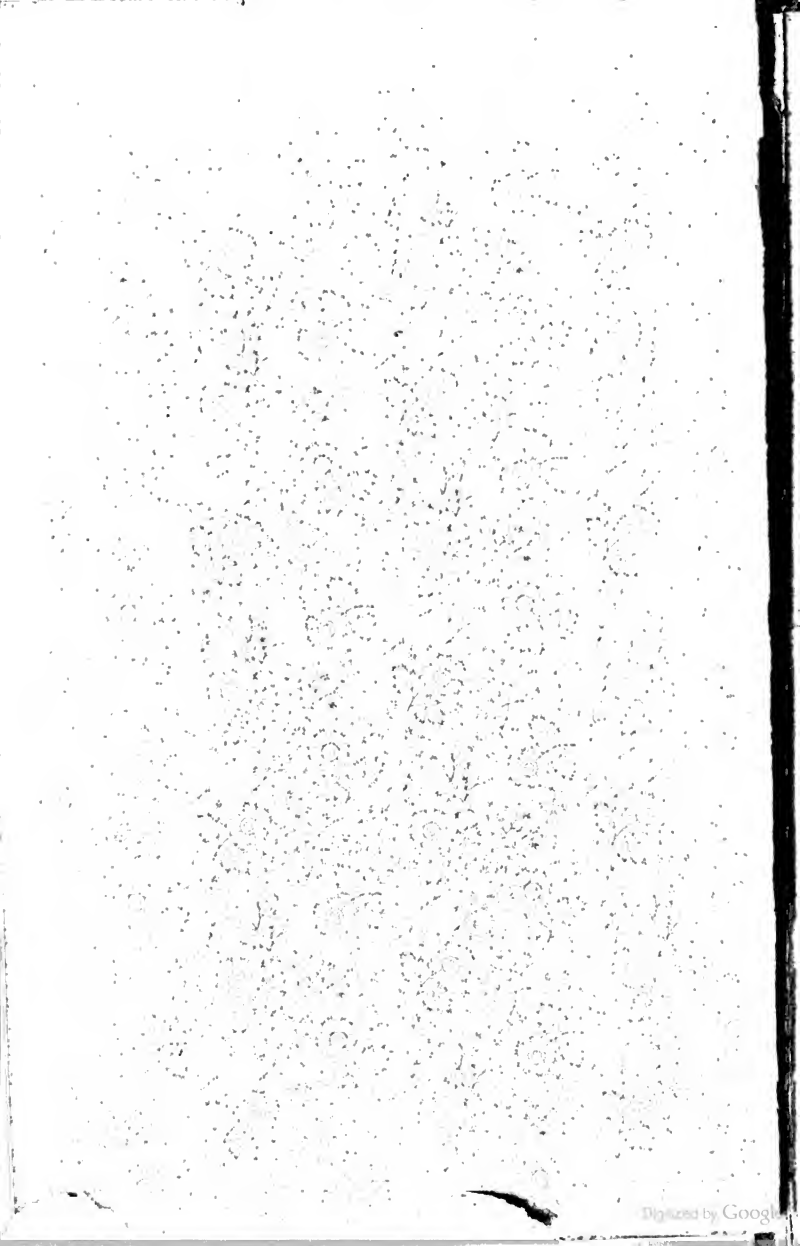
Mit 7 Abbildungen im Text und 4 Tafeln in Farbenlithographie.

Preis gebunden 3 Mark.

Leipzig, Walter Wigand's Buchdruckerei.



EP 1 1 1911



EP 1 1 1911

